

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный педагогический университет»
Институт физики, технологии и экономики
Кафедра физики и математического моделирования

Использование аддитивных технологий в образовании

Выпускная квалификационная работа
по направлению 09.03.03 – «Прикладная информатика»
Профиль «Прикладная информатика в образовании»

Квалификационная работа
допущена к защите
Зав. кафедрой ФиММ
Сидоров В.Е.

дата

подпись

Исполнитель:
студент БИ-41 группы
Ли Виктория Александровна

подпись

Научный руководитель:
к.п.н., доцент
Минина Елена Евгеньевна

подпись

Екатеринбург, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	6
1.1. Основные понятия и определения.....	6
1.2. Преимущества аддитивных технологий.....	8
1.3. Классификация аддитивных технологий.....	8
1.4. Сферы применения.....	12
1.5. Аддитивные технологии в России.....	13
1.6. Роль компьютерного моделирования в аддитивных технологиях.....	15
1.7. 3D-технологии в образовании.....	18
ГЛАВА 2. 3D-ПРИНТЕРЫ.....	23
2.1. Технология.....	23
2.2. Сферы применения технологии 3D-печати.....	31
ГЛАВА 3. 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМЫ (СЕРВИСЫ) ДЛЯ СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ.....	37
3.1. 3D-моделирование.....	37
3.2. Этапы 3D-моделирования.....	37
3.3. Программное обеспечение.....	41
3.4. Анализ систем (сервисов) для создания 3D-моделей.....	48
ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕДМЕТА ДЕКОРАТИВНО-ПРИКЛАДНОГО ИСКУССТВА (ЛОЖКИ).....	48
4.1. Моделирование ложки.....	51
4.2. Изготовление деревянной ложки.....	52
4.3. Моделирование и печать ложки с использованием аддитивных технологий.....	66
4.4. Сравнительная характеристика технологий изготовления ложки.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	69

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ЭСКИЗ ЛОЖКИ.....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ФОТОГРАФИЯ ДЕРЕВЯННОЙ МОДЕЛИ ЛОЖКИ...	74
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ФОТОГРАФИЯ РАСПЕЧАТАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЛОЖКИ.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ГОРЯЧИЕ КЛАВИШИ AUTODESK 3DS MAX.....	76

Введение

Актуальность темы исследования. Современные задачи, возникающие перед наукой и техникой, вызывают необходимость проектирования все более сложных технических объектов в сжатые сроки. Поэтому одной из наиболее приоритетных задач является использование новых (аддитивных) технологий. Область использования САПР динамично растет и если до настоящего времени основными сферами внедрения являлись различные отрасли машиностроения и промышленные системы, то теперь они находят применение в медицинских и биологических задачах, в частности для проектирования эндопротезов. Качество последних, во многом определяет успех лечения. Существующие в медицинской практике подходы к проектированию данных устройств позволяют оценивать их эффективность преимущественно путем длительного субъективного наблюдения за больными, для лечения которых они применялись, что делает разработку недостаточно рациональной и экономически не всегда оправданной. Современные технологии, на выполнение процесса в которых выделяется меньше времени по сравнению с традиционными технологиями, позволяют улучшить качество создаваемых изделий, снизить материальные затраты, сократить сроки разработки и ликвидировать рост количества работников, занятых в этой сфере.

Предметом исследования являются использование аддитивных технологий на уроках технологии.

Объектом исследования являются аддитивные технологии.

Цель выпускной квалификационной работы – показать эффективность использования аддитивных технологий в образовании. В связи с этим нами ставятся следующие **задачи**:

1. разработать эскиз ложки;
2. приобрести и взвесить брусок липы;
3. изготовить и взвесить деревянная ложка;

4. провести анализ систем (сервисов) для создания 3D-моделей;
5. создать компьютерную модель ложки;
6. распечатать модель и взвесить пластиковую ложку;
7. провести сравнение традиционного и современного моделирования объекта.

Структура работы включает в себя введение, четыре главы, заключение, список использованной литературы и приложения. Первая глава содержит описание аддитивных технологий и их применение в образовании. Вторая глава посвящена 3D-принтерам. В третьей главе описывается 3D-моделирование и этапы моделирования, проводится анализ систем (сервисов) для создания 3D-моделей. Четвертая глава посвящена практическому созданию объекта традиционным способом и с использованием аддитивных технологий.

1. Аддитивные технологии

1.1. Основные понятия и определения

Применение новых технологий – главный тренд последних лет в любой сфере промышленного производства. Каждое предприятие в России и мире стремится создавать более дешевую, надежную и качественную продукцию, используя самые совершенные методы и материалы. Использование аддитивных технологий – один из ярчайших примеров того, как новые разработки и оборудование могут существенно улучшать традиционное производство.

Аддитивные технологии производства позволяют изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели. Такой процесс создания объекта также называют «выращиванием» из-за постепенности его изготовления. Если при традиционном производстве в начале имеется заготовка, от которой потом отсекается все лишнее, либо которая деформируется, то в случае с аддитивными технологиями из ничего (а точнее, из аморфного расходного материала) объект создаётся путём добавления материала слой за слоем. В зависимости от технологии, объект может строиться снизу-вверх или наоборот, получать различные свойства.

Общую схему аддитивного производства можно изобразить в виде следующей последовательности:



Рис. 1.1.1 – Общая схема аддитивного производства.

Первые аддитивные системы производства работали главным образом с полимерными материалами. Сегодня 3D-принтеры, олицетворяющие аддитивное производство, способны работать не только с ними, но и с инженерными пластиками, композитными порошками, различными типами металлов, керамикой, песком. Аддитивные технологии активно используются в машиностроении, промышленности, науке, образовании, проектировании, медицине, литейном производстве и многих других сферах.

Схематично различия в традиционном и аддитивном производстве приведены на рис. 1.1.2:

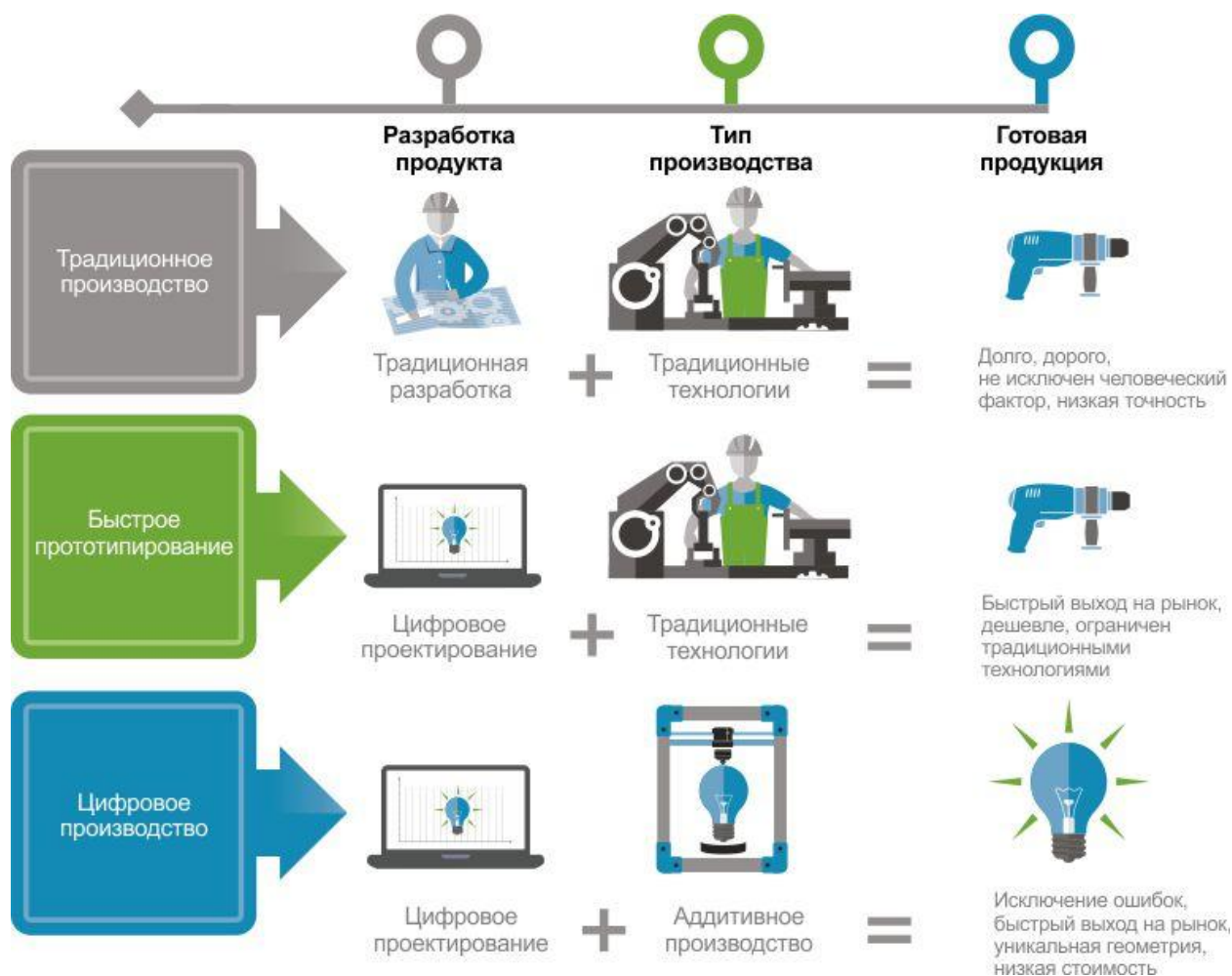


Рис. 1.1.2 – Различия в традиционном и аддитивном производстве.

1.2. Преимущества аддитивных технологий

Одной из самых распространённых на данный момент аддитивных технологий является 3D-печать.

У данной технологии по сравнению с «вычитающими», есть несколько неоспоримых преимуществ:

- Большая экономия сырья. Аддитивные технологии используют ровно столько материала, сколько необходимо для производства изделия. Тогда как при традиционных способах изготовления потери сырья могут составлять до 80-85%;
- Отсутствие в деталях дефектов производства. Это достигается за счёт постепенного создания изделия слой за слоем;
- Возможность изготовления изделий со сложной геометрией. Оборудование для аддитивных технологий позволяет производить предметы, которые невозможно получить другим способом. Например, деталь внутри детали или очень сложные системы охлаждения на основе сетчатых конструкций;
- Улучшенные свойства готовой продукции. Благодаря послойному построению, изделия обладают уникальным набором свойств. Например, детали, созданные на металлическом 3D-принтере по своему механическому поведению, плотности, остаточному напряжению и другим свойствам превосходят аналоги, полученные с помощью литья или механической обработки;
- Мобильность производства и ускорение обмена данными. Не требуется никаких чертежей, замеров и громоздких образцов. В основе аддитивных технологий лежит компьютерная модель будущего изделия, которую можно передать в считанные минуты на другой конец мира – и сразу начать производство.

1.3. Классификация аддитивных технологий

Суть аддитивных технологий заключается в соединении материалов для создания объектов из данных 3D-модели слой за слоем. Этим они

отличаются от обычных субтрактивных технологий производства, подразумевающих механическую обработку – удаление вещества из заготовки.

Аддитивные технологии классифицируют:

- по используемым материалам;
- по наличию лазера;
- по способу фиксирования слоя;
- по способу образования слоя.

На сегодняшний день существует два способа формирования слоя. При первом способе сначала насыпают на платформу порошковый материал, распределяют его роликом или ножом для создания ровного слоя материала заданной толщины. При этом порошок подвергается выборочной обработке лазером или другим способом соединения частиц (плавкой или склеиванием) согласно текущему сечению CAD-модели. Плоскость построения неизменна, а часть порошка остаётся нетронутой. Этот способ называют селективным синтезом или селективным лазерным спеканием в случае, если инструментом соединения является лазер. Второй способ состоит в непосредственном осаждении материала в точку подведения энергии.

Организация ASTM (American Society for Testing and Materials), занимающаяся разработкой отраслевых стандартов, разделяет 3D-аддитивные технологии на 7 категорий по используемым материалам и способу их нанесения.

1. Material extrusion (выдавливание материала). В точку построения по подогретому экструдеру подаётся пастообразный материал, представляющий собой смесь связующего и металлического порошка. Построенная сырая модель помещается в печь для того, чтобы удалить связующее и спечь порошок – так же, как это происходит в традиционных технологиях. Эта аддитивная технология реализована под марками MJS (Multiphase Jet Solidification – многофазное отверждение струи), FDM (Fused Deposition Modeling – моделирование

методом послойного наплавления), FFF (Fused Filament Fabrication – производство способом наплавления нитей).

FDM (Fused deposition modeling) – послойное построение изделия из расплавленной пластиковой нити. Это самый распространенный способ 3D-печати в мире, на основе которого работают миллионы 3D-принтеров – от самых дешевых до промышленных систем трехмерной печати. FDM-принтеры работают с различными типами пластиков, самым популярным и доступным из которых является ABS. Изделия из пластика отличаются высокой прочностью, гибкостью, прекрасно подходят для тестирования продукции, прототипирования, а также для изготовления готовых к эксплуатации объектов. Крупнейшим в мире производителем пластиковых 3D-принтеров является американская компания Stratasys.

2. Material jetting (разбрызгивание материала). Например, в технологии Polyjet воск или фотополимер по многоструйной головке подается в точку построения. Эта аддитивная технология также называется Multi jetting Material.

MJM (Multi-jet Modeling) – многоструйное моделирование с помощью фотополимерного или воскового материала. Эта технология используется в 3D-принтерах серии ProJet компании 3D Systems и для изготовления выжигаемых или выплавляемых мастер-моделей для литья, а также прототипов различной продукции.

PolyJet – отверждение жидкого фотополимера под воздействием ультрафиолетового излучения. Эта технология используется в линейке 3D-принтеров Objet американской компании Stratasys для получения прототипов и мастер-моделей с гладкими поверхностями.

3. Binder jetting (разбрызгивание связующего). К ним относятся струйные Ink-Jet-технологии впрыскивания в зону построения не модельного материала, а связующего реагента (технология аддитивного производства ExOne).

CJP (Color jet printing) – цветная струйная печать. На сегодняшний день CJP является единственной промышленной технологией полноцветной 3D-печати. С ее помощью изготавливают яркие красочные прототипы продукции для тестирования и презентаций, а также различные сувениры, архитектурные макеты.

4. Sheet lamination (соединение листовых материалов). Строительный материал представляет собой полимерную плёнку, металлическую фольгу, листы бумаги и др. Используется, например, в технологии ультразвукового аддитивного производства Fabrisonic. Тонкие пластины из металла свариваются ультразвуком, после чего излишки металла удаляются фрезерованием. Аддитивная технология здесь применяется в сочетании с субстрактивной.
5. Vat photopolymerization (фотополимеризация в ванне). Технология использует жидкие модельные материалы – фотополимерные смолы. Примером могут служить SLA-технология компании 3D Systems и DLP-технология компаний Envisiontec, Digital Light Procession.
SLA (сокращенно от Stereolithography) – лазерная стереолитография, отверждение жидкого фотополимерного материала (смолы) под воздействием лазера. Эта технология аддитивного цифрового производства ориентирована на изготовление высокоточных изделий с различными свойствами. Крупнейшим производителем SLA-принтеров является американский концерн 3D Systems.
6. Powder bed fusion (плавка материала в заранее сформированном слое). Используется в SLS-технологиях, использующих в качестве источника энергии лазер или термоголовку (SHS компании Blueprinter).
SLS (Selective laser sintering) – селективное (выборочное) лазерное спекание полимерных порошков. С помощью этой технологии можно получать большие изделия с различными физическими свойствами (повышенная прочность, гибкость, термостойкость и др). Крупнейшим

производителем SLS-принтеров является американский концерн 3D Systems.

7. Directed energy deposition (прямое подведение энергии в место построения). Материал и энергия для его плавления поступают в точку построения одновременно. В качестве рабочего органа используется головка, оснащённая системой подвода энергии и материала. Энергия поступает в виде сконцентрированного пучка электронов (Sciaky) или луча лазера (POM, Optomes,). Иногда головка устанавливается на «руке» робота.

В отличие от предыдущих классификаций последняя подчеркивает все тонкости аддитивных технологий.

1.4. Сферы применения

Рынок аддитивных технологий в динамике развития опережает остальные отрасли производства. Его средний ежегодный рост оценивается в 27% и, по оценке компании IDC, к 2019 г. составит 26,7 млрд долларов США по сравнению с 11 млрд в 2015 г.

Однако АТ-рынку ещё предстоит раскрыть неиспользованный потенциал в сфере производства товаров широкого потребления. До 10% средств компаний от стоимости производства товара расходуется на его прототипирование. И большинство компаний уже заняли данный сегмент рынка. Но остальные 90% идут в производство, поэтому создание приложений для быстрого изготовления товаров станет основным направлением развития этой отрасли в будущем.

В 2014 г. доля быстрого прототипирования на рынке аддитивных технологий хотя и уменьшилась, оставалась наибольшей – 35%, доля быстрого производства росла и достигла 31%, доля в создании инструментов оставалась на уровне 25%, остальное приходилось на исследования и образование.

Применение АТ-технологий по отраслям экономики отображено на приведенной ниже диаграмме (рис. 1.4.1).



Рис. 1.4.1 – Сферы применения аддитивных технологий.

1.5. Аддитивные технологии в России

Отечественные предприятия с каждым годом все более активно используют системы 3D-печати в производственных и научных целях. Оборудование для аддитивного производства, грамотно встроенное в производственную цепочку, позволяет не только сократить издержки и сэкономить время, но и начать выполнять более сложные задачи.

Машины промышленного класса в России не выпускаются. Пока только ведутся разработки в "Росатоме", лазерном центре Московского государственного технического университета (МГТУ) им. Баумана, Московском государственном технологическом университете (МГТУ)

«Станкин», Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (СПбГПУ), Уральском федеральном университете (УрФУ). «Воронежсельмаш», выпускающий учебно-бытовые 3D-принтеры «Альфа», разрабатывает промышленную аддитивную установку.

Такая же ситуация и с расходными материалами. Лидером разработки порошков и порошковых композиций в России является Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ). Компанией производится порошок для аддитивных технологий, использующийся при восстановлении лопаток турбин, по заказу пермского «Авиадвигателя». Прогресс есть и у Всероссийского института лёгких сплавов (ВИЛС). Разработки ведутся различными инжиниринговыми центрами по всей Российской Федерации. "Ростех", Уральское отделение Российской академии наук (РАН), УрФУ ведут свои разработки. Но все они не способны удовлетворить даже небольшой спрос в 20 тонн порошка в год.

В связи с этим правительство поручило Министерству образования и науки (Минобрнауке), Министерству экономического развития (Минэкономразвитию), Министерству промышленности и торговли (Минпромторгу), Министерству связи и массовых коммуникаций (Минкомсвязи), РАН, Федеральному агентству научных организаций (ФАНО), "Роскосмосу", "Росатому", Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии ("Росстандарту"), институтам развития создать согласованную программу разработок и исследований. Для этого предлагается выделить дополнительные бюджетные ассигнования, а также рассмотреть возможности софинансирования за счёт средств Фонда национального благосостояния (ФНБ) и других источников. Рекомендовано поддержать новые производственные технологии, в т. ч. аддитивные, РВК, "Роснано", Фонду развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий (Фонду «Сколково»), Экспортному страховому агентству России (агентству "ЭКСАР"), Банку развития и внешнеэкономической деятельности ("Внешэкономбанку"). Также правительство в лице Минпромторга

подготовит раздел государственной программы по развитию и повышению конкурентоспособности промышленности.

1.6. Роль компьютерного моделирования в аддитивных технологиях

Этапы создания изделия на 3D-принтере приведены на рис. 1.6.1:

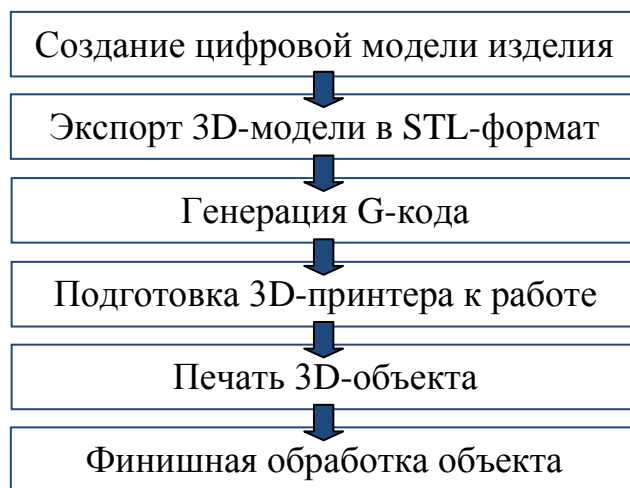


Рис. 1.6.1. – Этапы создания изделия на 3D-принтере

Рассмотрим каждый этап подробнее:

- Создание цифровой модели изделия. На данном этапе при помощи системы трёхмерного геометрического моделирования (3D Computer Aided Design (CAD) – систем автоматизированного проектирования) создаётся компьютерная модель будущего изделия. Так же возможно создание компьютерной модели изделия, на основании 3D-сканирования объекта.
- Экспорт 3D-модели в STL-формат. STL – это специальный формат, созданный для 3D-печати, он описывает треугольники, из которых состоят контуры любого объекта.
- Генерация G-кода. Создаётся набор, представляющий собой, нарезку цифровой модели на отдельные слои с преобразованием данных в инструкции для работы принтера.

- Подготовка 3D-принтера к работе. Данный этап может немного отличаться в зависимости от типа печати, но в основном все схоже и представляет собой загрузку материала, калибровку позиционирования печатного сопла.
- Печать 3D-объекта. Непосредственно происходит создание изделия путём послойного синтеза материала.
- Финишная обработка объекта. Полировка, шлифовка объекта. Обычно для этих целей используют автоматический пескоструйный аппарат или ручную обработку наждачной бумагой мелкой зернистости.

Одной из основных ролей компьютерного моделирования в аддитивных технологиях является создание геометрической 3D-модели будущего изделия при помощи CAD пакетов. За счёт того, что объект создаётся путём послойного синтеза, создаваемая 3D-модель представляет собой виртуальный прототип будущего изделия. За счёт этого всегда есть возможность в быстрой корректировке изделия, а так же для будущей модернизации объекта. Благодаря этому открываются широкие возможности в применении аддитивных технологий в различных областях.

Также одной из важнейших ролей компьютерного моделирования в аддитивных технологиях является компьютерный анализ и оптимизация изготавливаемого объекта до его физических испытаний. Проведя такой анализ можно минимизировать количество итераций на производстве и испытании изделия. Для такого рода задач используются системы инженерного анализа (Computer-aided engineering (CAE) – компьютерной инженерии).

Современные системы анализа позволяют моделировать различные физические процессы, которые могут произойти с изготавливаемым объектом. Наиболее распространённые типы задач, которые анализируют при помощи CAE пакетов:

- Анализ механических свойств (structural analysis): расчёт динамических пластических деформаций, при статической и динамической нагрузке, анализ прочности и механической устойчивости изделия.

- Моделирование динамики систем твердых тел (Rigid Body Dynamics): анализируется сложная механическая система с большим количеством элементов, учитывающая деформации различных частей высокой твёрдости.
- Вычислительная гидродинамика (Computational Fluid Dynamics): расчёт потоков газа и жидкости вокруг или через объекты.
- Тепловой анализ (thermal analysis): расчёт температурных показателей, процессы диффузии, конвекции и излучения.
- Электромагнитное моделирование (Electromagnetic simulation): моделирование статических и динамических электромагнитных полей.
- Моделирование процессов (Process Simulation): физическое моделирование определённых процессов, штамповка, прокатка.

Для проведения CAE анализа 3D-модель изделия импортируется в программу, где она проходит следующие этапы:

- Определение параметров модели. На данном этапе задаются свойства материала, из которого предполагается производство изделия.
- Определение контактных параметров. Указываются точки приложения воздействия (механическое, тепловое и т.д.) на объект.
- Определение кривой нагружения. Задаются тип и время воздействия.
- Определение времени расчёта.
- Анализ результатов компьютерного моделирования.

После проведения комплексного анализа при помощи CAE становится понятно, надо ли изменять что-либо в будущем изделии. При условии выявления недочётов в 3D-модели она передаётся на доработку. Если все результаты в допустимых рамках, модель отправляется на печать.

В производстве изделий при помощи аддитивных технологий, роль компьютерного моделирования очень высока. Начиная от первого этапа, на котором создаётся будущая 3D-модель при помощи CAD пакетов, так и при последующем этапе CAE анализе полученной модели. За счёт такой взаимосвязи можно получить изделие 3D-печати высокого качества.

1.7. 3D-технологии в образовании

Высокие темпы развития техники и технологии производства выдвигают новые требования к уровню подготовки специалиста, что немедленно находит свое отражение в содержании образования и средств обучения, в том числе, начиная со школьной скамьи. Современным трендом в образовательных технологиях, отвечающим всем требованиям и обладающим огромным потенциалом, являются 3D-технологии.



Рис. 1.7.1 – Инфозона «3D образование».

3D-технологии в образовании позволяют разнообразить уроки и лекции, делать образовательный процесс эффективным и визуально-объемным. Применение 3D-контента в классе дает возможность наглядно объяснять ученикам школьную программу, способствует "погружению" в тему изучаемого предмета в ходе урока и позволяет мобильно переходить от целой структуры к отдельным ее элементам, от сложного к простому и наоборот. Учебный интерактивный контент для среднего школьного образования состоит из сочетания тестов, 3D-видео, моделирования,

виртуальных лабораторий, интерактивных заданий, игр, а также текстов, изображений и гиперссылок.

Преимущества использования 3D-технологии:

- Вооружает учителя высококачественными учебными материалами, экономя, таким образом, время на объяснение сложных понятий.
- Визуализация «сложных» тем школьной программы помогает ученикам лучше понимать изучаемый материал.
- Включение 3D (трехмерных моделей) процессов и объектов в традиционные способы обучения вносит инновацию в «рутинный» процесс обучения, повышает мотивацию к обучению.
- Облегчает систематизацию знаний.
- Способствует усвоению большего объема информации, что положительно сказывается на результатах тестов и экзаменов.

Пользователи 3D имеют возможность для детального изучения как внешних, так и внутренних характеристик стереоскопических моделей, кроме того, имеется возможность путешествовать по нервной или пищеварительной системам, разъединять мышцы по слоям или проникать внутрь клетки, убирать внешние оболочки для детального изучения внутренностей объекта, а также ставить собственные метки на отдельные части для более глубокого понимания объекта. Интерактивность является важным методом обучения, так как биологические объекты очень трудно визуализировать.

Сегодня в сфере образования достаточно широко используется 3D-принтер, который позволяет школьникам и студентам проникнуться глубоко в изучаемую тему. Создание модели от ее компьютерной версии до печати реального объекта позволяют учащимся на реальных примерах освоить идеи моделирования, познакомиться с технологией печати и т. п. Сложно представить объемную идеальную деталь в голове, заметить изъяны, а, распечатав деталь, ученик всегда может подкорректировать и попробовать снова и снова совершенствовать свою работу. К тому же, всегда приятно

ощущать сделанную работу в руках. Также широко используются сами модели в учебном процессе, как средства обучения. Это возможность получить наглядное представление об идеях, написанных в тетради.

Трёхмерная печать даёт вариативность методик преподавания. Преподаватель может найти к каждому подход и скорректировать знания о предмете у каждого учащегося.

3D-принтеры могут стать хорошими помощниками в учебном процессе, обладая следующими достоинствами:

- 1) печать довольно крупных моделей любых форм;
- 2) печать прототипов изделий;
- 3) печать геометрических объектов, тестирование математических формул на конкретных моделях;
- 4) некоторые технологии позволяют использовать простое и интуитивно понятное программное обеспечение.

Данная технология может быть использована в предметной области таких дисциплин, как:

- география - для 3D-моделирования и визуализации местности;
- история - для моделирования археологических находок и древних ископаемых, исторических событий и т. п.;
- анатомия - для моделирования отдельных частей тела и органов;
- биология и химия - возможность создавать полноцветные молекулярные модели, наглядно демонстрировать цепочки ДНК;
- физика - для наглядной демонстрации электрического заряда или устройства атома;
- информатика, где раздел «Моделирование и формализация» является одним из важнейших в данном курсе.

Список сфер, где может использоваться технология 3D-моделирования не заканчивается представленными предметными областями, возможности данной технологии безграничны.



Рис. 1.7.2 – Использование 3D-печати в образовании.

Печать на 3D-принтере и аддитивные технологии в целом становятся важной частью учебного и производственного процессов в образовательных учреждениях и на предприятиях.

Создание подробной трехмерной модели какого-либо изделия, конечно, не самое простое занятие, но, все же, это существенно проще, чем воспроизвести подобную пробную деталь в реальности вручную. Обучить человека, имеющего пространственное воображение работе с компьютерной программой намного проще, чем осваивать несколько профессий для самостоятельного создания прототипа изделия в натуральную величину руками.

Использование 3D-принтеров «тянет» за собой целую вереницу необходимых знаний в компьютерном моделировании, физике, математике, программировании. 3D-печать – это мощный образовательный инструмент, который может привить ребёнку привычку не использовать только готовое, но творить самому. Внедрение инновационной технологии в учебный

процесс выгодно как самим педагогам, способным создавать трехмерные наглядные пособия для лучшего усвоения материала, так и обучающимся для выполнения индивидуальных и групповых проектных работ и воплощения своих конструкторских и дизайнерских идей. С их помощью станет возможным реализация авторских проектов, печать практических заданий, развитие творческих способностей и навыков.

3D-печать в учебном процессе позволяет развивать междисциплинарные связи, требует больше времени для самостоятельной творческой работы, открывает широкие возможности для проектного обучения.

2. 3D–принтер

2.1. Технология 3D-печати

3D-принтер – это периферийное устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели.

Технология 3D-печати появилась в 1984 году в последствии разработки первого устройства для 3D-печати.

3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта.

Технологии, применяемые для создания слоев, приведены в таблице 1.

Основными технологиями 3D-печати являются SLS (селективное лазерное сплетение), FDM (моделирование методом наплавления) и SLA (стереолитография). Наиболее востребованной благодаря своей высокой скорости является технология SLA.

Стереолитография (SLA). Стереолитография наиболее распространена среди технологий 3D-печати из-за низкой себестоимости готовых изделий.

Технология SLA состоит в следующем: система сканирования направляет на фотополимер лазерный луч (рис. 2.1.1). Под действием луча материал твердеет. Фотополимером является твёрдый и хрупкий полупрозрачный материал. Этот материал коробится под действием атмосферной влаги, легко обрабатывается, склеивается и окрашивается. В ёмкости с фотополимерной композицией находится рабочий стол. Его рабочая поверхность смещается вниз на высоту одного слоя (0,025 мм – 0,3 мм) каждый раз после прохождения лазерного луча и отверждения очередного слоя.

Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН а также компании 3D Systems, F&S Stereolithographie-technik GmbH изготавливают оборудование для SLA печати.

Технологии 3D-печати

Тип	Технология	Печать несколькими материалами одновременно	Цветная печать
Экструзия	Моделирование методом наплавления (англ. Fused deposition modeling, FDM)	возможно	возможна
	Робокастинг (англ. Robocasting или Direct Ink Writing, DIW)	возможно	возможна
Фотополимеризация	Лазерная стереолитография (англ. laser stereolithography, SLA)	невозможно	невозможна
	Стереолитография с применением DLP-проектора (англ. laser stereolithography - digital light processing, SLA-DLP)	невозможно	невозможна
Формирование слоя на выровненном слое порошка	Струйная трехмерная печать (англ. 3D Printing, 3DP)	невозможно	возможна
	Электронно-лучевая плавка (англ. Electron-beam melting, EBM)	невозможно	невозможна
	Селективное лазерное спекание (англ. Selective laser sintering, SLS)	невозможно	невозможна
	Прямое металлическое лазерное спекание (англ. Direct metal laser sintering, DMLS)	невозможно	невозможна
	Селективное термическое спекание (англ. Selective heat sintering, SHS)	невозможно	невозможна
Подача проволочного материала	Электронно-лучевое изготовление предметов произвольной формы (англ. Electron beam freeform fabrication, EBF)	возможно	возможна
Ламинирование	Изготовление объектов с использованием ламинирования (англ. Laminated object manufacturing, LOM)	возможно	возможна
Точечная подача порошка	Прямой подвод энергии (Directed Energy Deposition, DED)	возможно	возможна
Струйная печать	Метод многоструйного моделирования (Multi Jet modeling, MJM)	возможно	возможна

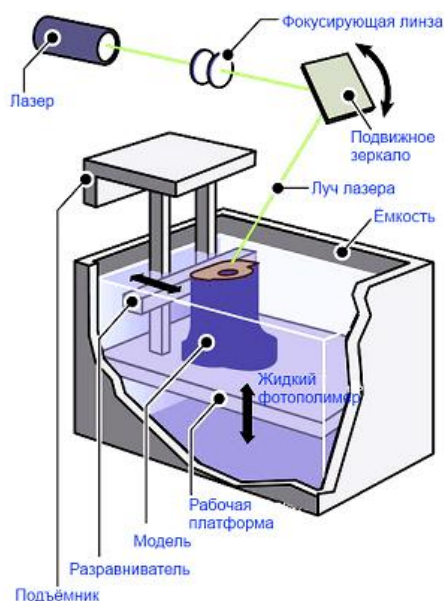


Рис. 2.1.1 – Технология SLA.

Также существует вариация данной технологии – SLA-DLP, в которой вместо лазера используется DLP-проектор (в этом случае слой формируется сразу целиком, что позволяет ускорить процесс печати).

Лазерное спекание порошковых материалов (SLS). Лазерное спекание порошковых материалов – единственная технология 3D-печати, которая может быть использована для изготовления металлических формообразующих для пластмассового и металлического литья. Пластмассовые прототипы могут быть использованы для изготовления полнофункциональных изделий, благодаря хорошим механическим свойствам (рис. 2.1.2).

Материалы, используемые в технологии SLS, близки по своим свойствам к конструкционным маркам: керамика, порошковый пластик, металл. Технология основана на последовательном спекании слоев порошкового материала лазерным лучом высокой мощности в твёрдый слой, соответствующий сечению 3D-модели и определяющий её геометрию.

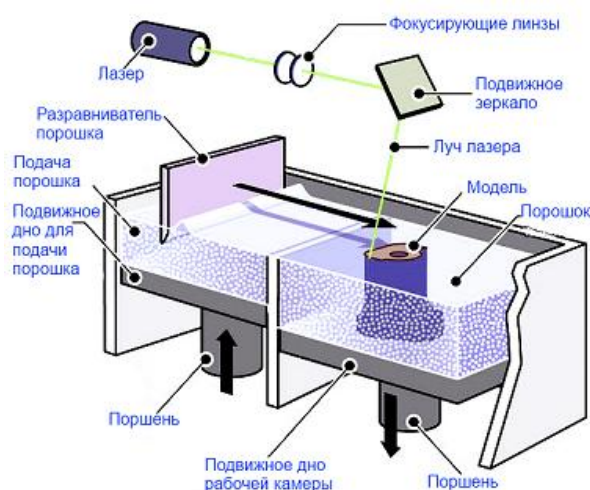


Рис. 2.1.2 – Технология SLS.

Компании F&S Stereolithographie GmbH, EOS GmbH, 3D Systems и The ExOne Company / Prometal изготавливают оборудование для SLS-печати.

Прямое металлическое лазерное спекание (англ. *Direct metal laser sintering, DMLS*) – объект формируется из плавкого порошкового материала (пластик, металл) путём его плавления под действием лазерного излучения. Порошкообразный материал наносится на платформу тонким равномерным слоем и выравнивается валиком, после чего лазерное излучение формирует на поверхности текущий слой разрабатываемого объекта. Затем платформа опускается на высоту одного слоя и на неё вновь наносится порошкообразный материал. Данная технология не нуждается в поддерживающих структурах для «висящих в воздухе» элементов разрабатываемого объекта за счёт заполнения пустот порошком. Для уменьшения необходимой для спекания энергии температура рабочей камеры обычно поддерживается на уровне чуть ниже точки плавления рабочего материала, а для предотвращения окисления процесс проходит в бескислородной среде.

Электронно-лучевая плавка (Electron Beam Melting, EBM) – аналогична технологиям SLS/DMLS, только здесь объект формируется путём плавления металлического порошка электронным лучом в вакууме.

Послойная печать расплавленной полимерной нитью (FDM).

Послойная печать расплавленной полимерной нитью используется для изготовления выплавляемых форм для литья металлов и для получения единичных изделий, приближенных по своим функциональным возможностям к серийным изделиям (рис. 2.1.3).

Технология FDM-печати заключается в следующем: нити из АВС пластика, воска или поликарбоната разогреваются до полужидкого состояния и с высокой точностью выдавливаются тонкими слоями через головку с контролируемой температурой на рабочую поверхность 3D-принтера. Эти слои наносятся друг на друга, соединяются между собой и отвердевают, постепенно формируя готовое изделие.

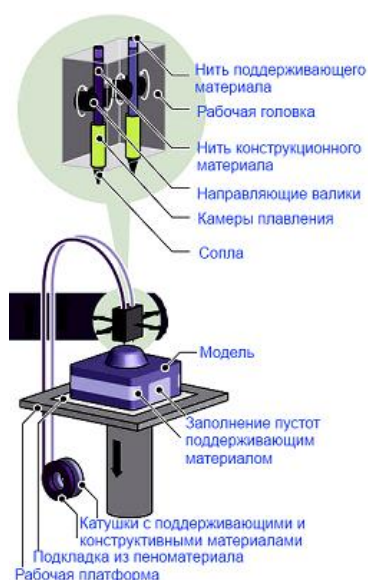


Рис. 2.1.3 – Технология FDM.

В настоящее время компания Stratasys Inc изготавливает 3D-принтеры с технологией FDM.

Технология струйного моделирования. Технология струйного моделирования (Ink Jet Modelling) имеет несколько запатентованных подвидов: DODJet (Drop-On-Demand-Jet, SolidScape Inc), PolyJet (Objet Geometries Ltd) и MJM (Multi-Jet Modeling, 3D Systems).

Хоть все эти технологии имеют свои особенности, работают они по одному принципу. Чаще всего используются моделирующие и поддерживающие материалы. К числу моделирующих материалов относится широкий спектр материалов, близких по своим свойствам к конструкционным термопластикам, а к поддерживающим – воск. На рабочую поверхность через печатающую головку 3D-принтера наносятся поддерживающие и моделирующие материалы. После чего производится механическое выравнивание и фотополимеризация.

Такая технология позволяет получать прозрачные и окрашенные модели с различными механическими свойствами. Среди них могут быть как и твёрдые, похожие на пластики, так и мягкие, резиноподобные изделия (рис. 2.1.4).

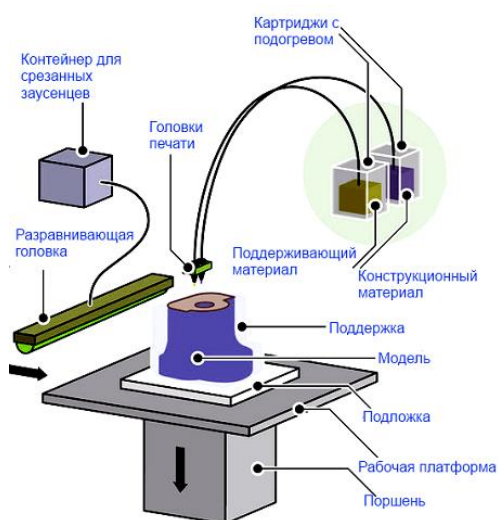


Рис. 2.1.4 – Технология струйного моделирования.

Компании 3D Systems, Objet Geometries Ltd, Solidscape Inc изготавливают 3D-принтеры с использованием технологии струйного моделирования.

Технология 3D Printing (3DP) аналогична технологии SLS, только здесь не используется плавление: объект формируется из порошкового материала путём склеивания, с использованием струйной печати для нанесения жидкого клея. Данная технология позволяет производить цветное моделирование за

счет добавления в клей красителей (непосредственно во время печати), или за счет использования нескольких печатающих головок с цветным клеем.

Технология склеивания порошков (Binding powder by adhesives). Технология склеивания порошков позволяет помимо создания объёмных моделей, раскрашивать их.

В принтерах с данной технологией используются два вида материалов: крахмально-целлюлозный порошок, формирующий модель, и жидкий клей на водной основе, проклеивающий слой порошка. Клей поступает через печатающую головку 3D-принтера и связывает между собой частицы порошка, формируя контур модели. После завершения печати излишки порошка удаляются. В пустоты модели заливается жидкий воск для придания модели дополнительной прочности (рис. 2.1.5).

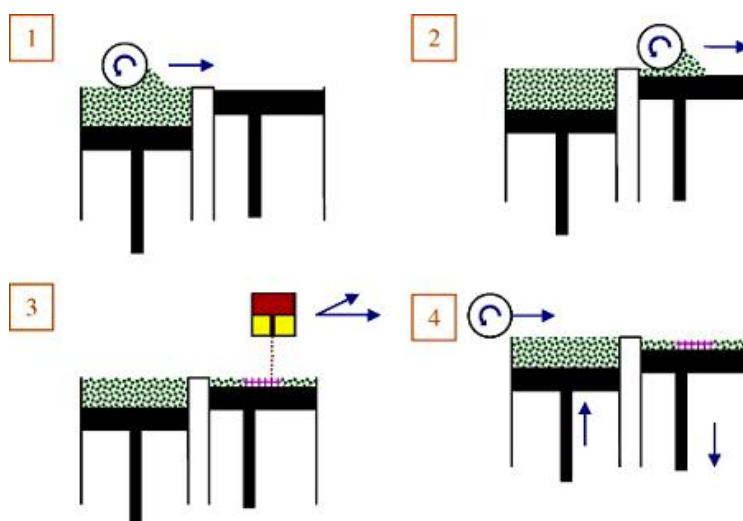


Рис. 2.1.5 – Технология склеивания порошков.

На сегодняшний день изготовлением 3D-принтеров с технологией склеивания порошков занимается компания Z Corporation.

Ламинирование листовых материалов (LOM). Ламинирование листовых материалов предполагает изготовление 3D-моделей из бумажных листов с помощью ламинирования. Лазером вырезается контур слоя будущей модели, а ненужные обрезки удаляются из принтера путем

разрезания их на небольшие квадратики. Структурно готовое изделие похоже на древесное, однако негативно относится к влаге (рис. 2.1.6).

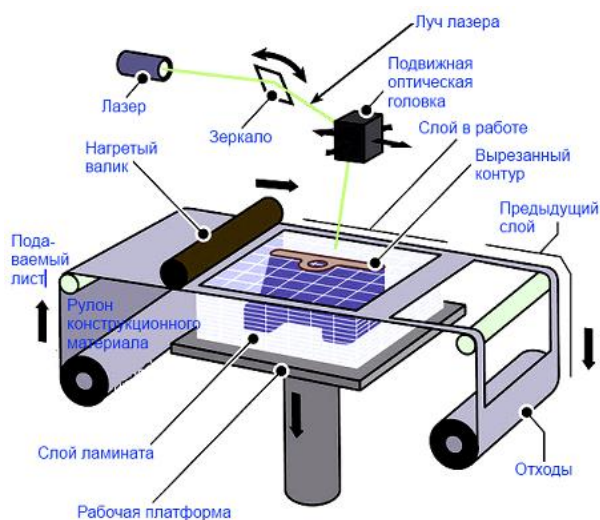


Рис. 2.1.6 – Технология ламинирования листовых материалов.

Производством 3D-принтеров с технологией ламинирования листовых материалов занималась компания Helisys Inc, но в настоящее время компания прекратила выпуск такого оборудования.

Облучение ультрафиолетом через фотомаску (SGC). Облучение ультрафиолетом через фотомаску предполагает распыление на рабочую поверхность слоев фоточувствительного пластика для создания готовых моделей. Тонкий слой пластика после нанесения через специальную фотомаску с изображением очередного сечения обрабатывается ультрафиолетовыми лучами. Неиспользованный материал удаляется при помощи вакуума, а оставшийся затвердевший материал повторно облучается жёстким ультрафиолетом. Полости готового изделия заполняются расплавленным воском, который служит для поддержки следующих слоёв. Перед нанесением следующего слоя фоточувствительного пластика предыдущий слой механически выравнивается (рис. 2.1.7).

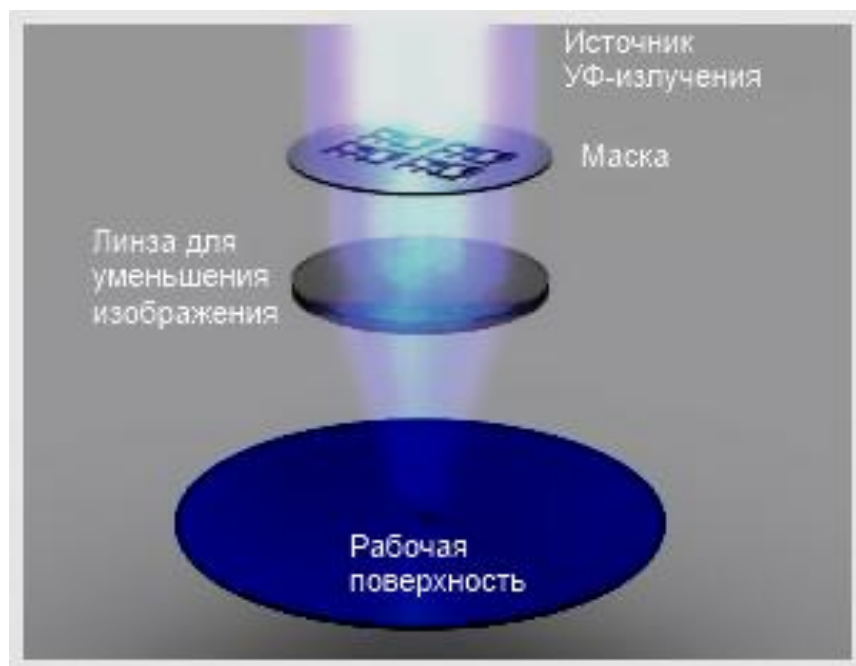


Рис. 2.1.7 – Технология облучения ультрафиолетом через маску.

До недавнего времени 3D-принтеры с технологией облучения УФ-лампой через фотомаску выпускала компания Cubital Inc, но в настоящее время производство таких машин прекращено.

Сами принтеры отличаются друг от друга так же, как и технологии. Каждый принтер создан только под определённую технологию печати, напр., если принтер работает по технологии SLA, то технологию SLS на нём применить будет невозможно.

2.2. Применение технологии 3D-печати

Трёхмерная печать применяется:

- в архитектуре, строительстве и геоинформационных системах. В изготовлении архитектурных макетов зданий, сооружений, целых микрорайонов, коттеджных посёлков со всей инфраструктурой: дорогами, деревьями, уличным освещением (рис. 2.2.1).



Рис. 2.2.1 – Применение 3D-печати в архитектуре.

Используют дешёвый гипсовый композит, который обеспечивает низкую себестоимость готовых моделей.

На сегодняшний день для 3D-печати доступно 390 тысяч оттенков палитры CMYK (Cyan – голубой, Magenta – пурпурный, Yellow – желтый, K (black) – черный), что позволяет воплотить в жизнь любую цветовую фантазию архитектора.

- в медицине. С каждым днём технология трёхмерной печати всё совершенствуется, и потому пользоваться "распечатанными" предметами становится всё безопаснее и эффективнее.

Технологии трёхмерной печати существенно облегчают работу врачей, потому что позволяют в кратчайшие сроки создать качественный протез, который полностью соответствует параметрам пациентов, т.е. 3D-печать решила проблему уникальности органов каждого человека.

Из модели вилмингтонского роботизированного экзоскелета (WREX), позволяющего двигать конечностями с помощью системы поддерживающих соединений и изначально созданного для детей в возрасте от шести лет и более, была разработана легкая уменьшенная модель устройства. Модель экзоскелета была распечатана на 3D-принтере компании Stratasys из

прочного ABS0-пластика, что позволило существенно снизить вес и сделать устройство достаточно мобильным (рис. 2.2.2).



Рис. 2.2.2 – Экзоскелет.

- в мелкосерийном производстве, функциональном тестировании и образовании. Профессиональные 3D-принтеры постепенно отвоёвывают свои позиции в сфере мелкосерийного производства. Чаще всего данную технологию печати используют для изготовления эксклюзивных изделий, например, предметов искусства, фигурок персонажей для участников ролевых интернет-игр, прототипов и концептуальных моделей будущих потребительских товаров или их конструктивных деталей. Такие модели используются как в экспериментальных целях, так и для презентаций новых товаров (рис. 2.2.3).

Использование 3D-принтеров для функционального тестирования – это один из современных методов инновационных разработок. В большинстве случаев требуется протестировать новый механизм в сборе, но изготовить отдельные компоненты в одном экземпляре слишком долго, дорого и весьма проблематично. На помощь приходят 3D-принтеры с различной степенью детализации моделей (рис. 2.2.4).



Рис. 2.2.3 – Мелкосерийные модели, напечатанные 3D-принтером.



Рис. 2.2.4 – Функциональное 3D-тестирование.

Использование технологии 3D-печати в образовании позволяет получить наглядные пособия, которые отлично подходят для классных комнат любых образовательных учреждений, начиная от детских садов и заканчивая вузами.

Современные 3D-принтеры отлично подходят для классных комнат, поскольку имеют повышенную надёжность, не выделяют во время печати вредных для здоровья продуктов, не предъявляют особых требований к утилизации, не содержат режущих и бритвенных материалов, не имеют лазеров (рис. 2.2.5).



Рис. 2.2.5 – Наглядные пособия, напечатанные 3D-принтером для учреждений среднего профессионального образования.

Предполагается, что оснащение образовательных учреждений конструкторских или дизайнерских специальностей 3D-принтерами поспособствует повышению эффективности образовательного процесса и быстрому усвоению знаний учащимися и студентами.

- в производстве одежды, обуви и ювелирных изделий

Технология 3D-печати позволяет использовать для изготовления одного предмета одежды несколько различных материалов. Такой подход позволяет решить проблемы, связанные с прочностью и эластичностью изготавливаемых вещей.

Как известно, при изготовлении ювелирных изделий самой трудоёмкой процедурой является создание восковых прототипов, которое требует колоссальных затрат времени. С появлением 3D-принтеров у ювелиров появилась возможность быстро выращивать восковые модели украшений, предварительно разработанные в специальной программе (рис. 2.2.6).

Для создания прототипов ювелирных украшений с использованием 3D-принтера используется специальный материал, по своему составу похожий на ювелирный воск.



Рис. 2.2.6 – Прототипы ювелирных украшений, напечатанные 3D-принтером.

3. 3D-моделирование и анализ систем (сервисов) для создания 3D-моделей

3.1. 3D-моделирование

Трёхмерная графика – раздел компьютерной графики, посвящённый методам создания изображений или видео путём моделирования объёмных объектов в трёхмерном пространстве.

Самые передовые достижения и идеи трёхмерной графики (и компьютерной графики вообще) докладываются и обсуждаются на ежегодном симпозиуме SIGGRAPH (ежегодная конференция по вопросам компьютерной графики (CG), созываемая организацией ACM SIGGRAPH (Association for Computing Machinery's Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques)), традиционно проводимом в США.

3D-моделирование – это процесс создания трёхмерной модели объекта. Задача 3D-моделирования заключается в разработке визуального объёмного образа желаемого объекта. При этом модель может как соответствовать объектам из реального мира (автомобили, здания, ураган, астероид), так и быть полностью абстрактной (проекция четырёхмерного фрактала).

Графическое изображение трёхмерных объектов отличается тем, что включает построение геометрической проекции трёхмерной модели сцены на плоскость (например, экран компьютера) с помощью специализированных программ. Однако, с созданием и внедрением 3D-дисплеев и 3D-принтеров, трёхмерная графика не обязательно включает в себя проецирование на плоскость.

3.2. Этапы 3D-моделирования

Для получения трёхмерного изображения на плоскости требуются следующие шаги:

- моделирование – создание трёхмерной математической модели сцены и объектов в ней;

- текстурирование – назначение поверхностям моделей растровых или процедурных текстур (подразумевает также настройку свойств материалов – прозрачность, отражения, шероховатость и пр.);
- освещение – установка и настройка источников света;
- анимация (в некоторых случаях) – придание движения объектам;
- динамическая симуляция (в некоторых случаях) – автоматический расчёт взаимодействия частиц, твёрдых/мягких тел и пр. с моделируемыми силами гравитации, ветра, выталкивания и др., а также друг с другом;
- рендеринг (визуализация) – построение проекции в соответствии с выбранной физической моделью;
- композитинг (компоновка) – доработка изображения;
- вывод полученного изображения на устройство вывода – дисплей или специальный принтер.

При моделировании сцены (виртуального пространства моделирования) особое внимание отводится:

- геометрии модели (построенная с помощью различных техник (напр., создание полигональной сетки) модель, например, здание),
- настройке материалов (информация о визуальных свойствах модели, например, цвет стен и отражающая/преломляющая способность окон), источников света (настройки направления, мощности, спектра освещения), виртуальных камер (выбор точки и угла построения проекции);
- настройке силы и воздействий (настройки динамических искажений объектов, применяется в основном в анимации), дополнительных эффектов (объекты, имитирующие атмосферные явления: свет в тумане, облака, пламя и пр.).

Текстурирование подразумевает проецирование растровых или процедурных текстур на поверхности трёхмерного объекта в соответствии с картой UV-координат, где каждой вершине объекта ставится в соответствие

определённая координата на двухмерном пространстве текстуры. Как правило, многофункциональные редакторы UV-координат входят в состав универсальных пакетов трёхмерной графики. Существуют также автономные и подключаемые редакторы от независимых разработчиков.

Этап освещения заключается в создании и настройке виртуальных источников света. При этом в виртуальном мире источники света могут иметь негативную интенсивность, отбирая свет из зоны своего «отрицательного освещения». Как правило, пакеты 3D-графики предоставляют следующие типы источников освещения:

- Omni light (Point light) – всенаправленный;
- Spot light – конический (прожектор), источник расходящихся лучей;
- Directional light – источник параллельных лучей;
- Area light (Plane light) – световой портал, излучающий свет из плоскости;
- Photometric – источники света, моделируемые по параметрам яркости свечения в физически измеримых единицах, с заданной температурой накала.

Существуют также другие типы источников света, отличающиеся по своему функциональному назначению в разных программах трёхмерной графики и визуализации. Некоторые пакеты предоставляют возможности создавать источники объемного свечения (Sphere light) или объемного освещения (Volume light) в пределах строго заданного объёма. Некоторые предоставляют возможность использовать геометрические объекты произвольной формы. Специалисты советуют начинать с одного основного источника света, а остальные добавлять постепенно – по одному, в зависимости от показаний тестового рендера.

Одним из главных призываний трёхмерной графики является анимирование (придание движения) трёхмерной модели, либо имитация движения среди трёхмерных объектов. Универсальные пакеты трёхмерной графики обладают весьма богатыми возможностями по созданию анимации.

Существуют также узкоспециализированные программы, созданные сугубо для анимации и обладающие очень ограниченным набором инструментов моделирования.

На этапе рендеринга математическая (векторная) пространственная модель превращается в плоскую (растровую) картинку. Если требуется создать фильм, то рендерится последовательность таких картинок – кадров. Как структура данных, изображение на экране представлено матрицей точек, где каждая точка определена, по крайней мере, тремя числами: интенсивностью красного, синего и зелёного цвета. Таким образом рендеринг преобразует трёхмерную векторную структуру данных в плоскую матрицу пикселей. Этот шаг часто требует очень сложных вычислений, особенно если требуется создать иллюзию реальности. Под самым простым видом рендеринга понимается построение контуров моделей на экране компьютера с помощью проекции. Обычно этого бывает недостаточно, и становится необходимым создать иллюзию материалов, из которых изготовлены объекты, а также рассчитать искажения этих объектов за счёт прозрачных сред (например, жидкости в стакане).

Существует несколько технологий рендеринга, часто комбинируемых вместе. Например:

- Z-буфер (используется в OpenGL и DirectX 10);
- сканлайн (scanline) или Ray casting («бросание луча», упрощенный алгоритм обратной трассировки лучей);
- трассировка лучей (рейтрейсинг, англ. raytracing);
- глобальное освещение (англ. global illumination, radiosity).

Вследствие большого объёма однотипных вычислений рендеринг можно разбивать на потоки (распараллеливать). Поэтому для рендеринга весьма актуально использование многопроцессорных систем. В последнее время многие производители систем рендеринга активно ведут разработки для использования графического процессора (graphics processing unit, GPU) вместо центрального процессора (central processing unit, CPU) и их

эффективность для таких вычислений увеличивается чуть ли не с каждым днем.

3.3. Программное обеспечение

Программные пакеты, позволяющие создавать трёхмерную графику, то есть моделировать объекты виртуальной реальности и создавать на основе этих моделей изображения, очень разнообразны. Последние годы устойчивыми лидерами в этой области являются коммерческие продукты, такие, как:

- Autodesk 3ds Max
- Autodesk Maya
- Autodesk Softimage
- Blender
- Cinema 4D
- Houdini
- Modo
- LightWave 3D
- Caligari Truespace
- а также сравнительно новые Rhinoceros 3D, Nevercenter Silo и ZBrush.

Среди открытых продуктов, распространяемых свободно, числится пакет Blender (позволяет создавать 3D-модели, анимацию, различные симуляции и др. с последующим рендерингом), K-3D и Wings3D.

3.4. Анализ систем (сервисов) для создания 3D-моделей

Программы для 3D-моделирования могут помочь превратить некоторые идеи в красивые модели и прототипы, которые впоследствии можно будет использовать в самых разных целях. Эти инструменты позволяют создавать модели с нуля, независимо от уровня подготовки. Некоторые 3D-редакторы достаточно просты, так что их в короткие сроки освоит даже новичок. Сегодня 3D-модели используются в самых различных

сферах: это кино, компьютерные игры, дизайн интерьера, архитектура и многое другое.

Выбор оптимального программного обеспечения для моделирования часто бывает трудным, так как непросто найти программу, в которой был бы весь необходимый функционал.

MeshLab – редактор трехмерной графики, предназначенный для обработки неструктурированных 3D-моделей, полученных в результате трёхмерного сканирования. Помимо своего основного назначения – обработки неструктурированных 3D-моделей Meshlab отлично подойдет для редактирования, восстановления, проверки и визуализации, построения поддерживающих структур для печати 3D-модели, а также конвертирования моделей. В программе присутствует набор инструментов редактирования, чистки, исправления, проверки, рендеринга и конвертирования такого рода моделей (мешей). Базой для программы служит система Visualization and Computer Graphics Library (VCG lib, библиотека визуализации и компьютерной графики) – система для отображения и обработки через OpenGL сеток.

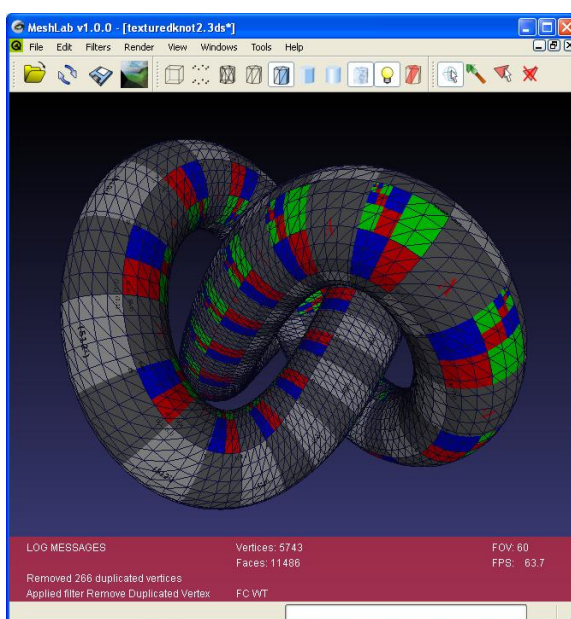


Рис. 3.4.1 – Интерфейс программы MeshLab.

В программе реализована функция рендеринга в реальном времени NPR (Non-photorealistic rendering), использующая принцип построения изображения методом штриховки посредством OpenGL шейдеров с возможностью рендеринга изображений в очень высоких разрешениях. Также программа может обрабатывать большие, многополигональные 3D-модели. MeshLab поддерживает большое количество форматов импорта/экспорта, включая формат Universal 3D (.u3d). Распространяется программа в соответствии с лицензией GPL (General Public License – Универсальная общедоступная лицензия, Открытое лицензионное соглашение), как open source проект и доступна на основных платформах Windows, Linux и Mac OS X (на базе процессоров intel).

Google SketchUp Make – программа для моделирования относительно простых трёхмерных объектов – строений, мебели, интерьера. Существуют две версии программы – бесплатная для некоммерческого использования, ограниченная по функциональности SketchUp Make (прежде всего относительно экспортирования в другие форматы), и платная SketchUp Pro.

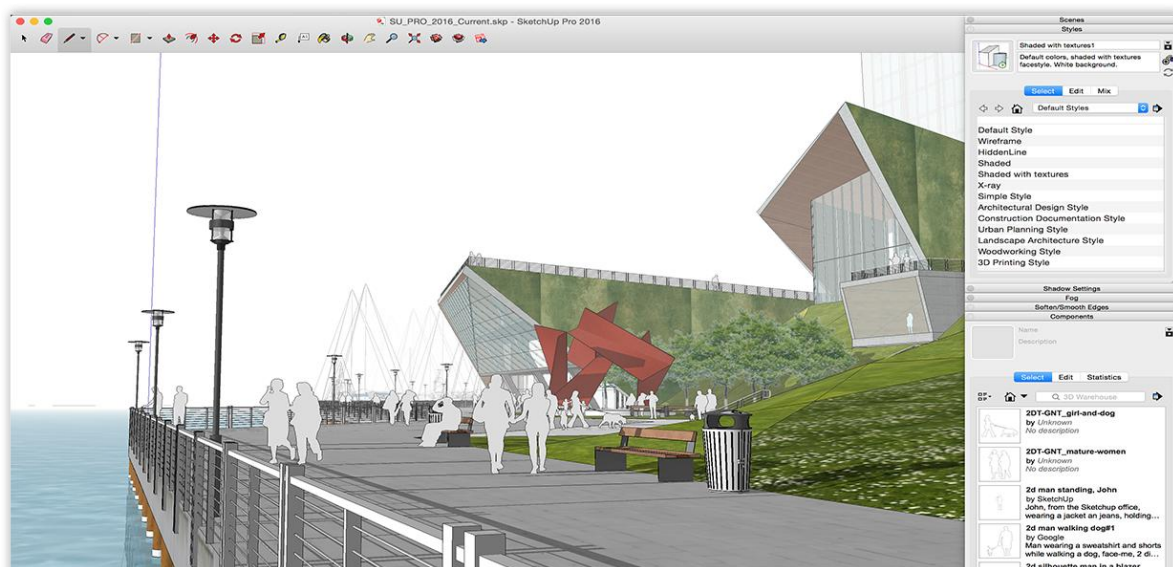


Рис. 3.4.2 – Интерфейс программы Google SketchUp Make.

По сравнению со многими популярными пакетами данный обладает рядом особенностей. Основная особенность – почти полное отсутствие окон

предварительных настроек. Все геометрические характеристики во время или сразу после окончания действия инструмента задаются с клавиатуры в поле Value Control Box (поле контроля параметров), которое находится в правом нижнем углу рабочей области, справа от надписи Measurements (панель измерений). Проекты SketchUp сохраняются в формате *.skp. Также программа поддерживает импорт и экспорт различных форматов двухмерной растровой и трёхмерной графики, в частности: *.3ds, *.dwg, *.ddf, *.jpg, *.png, *.bmp, *.psd.

Autodesk 3ds Max – это комплексное решение для 3D-моделирования, анимации, рендеринга и композитинга, предназначенное для реализации творческого потенциала разработчиков игр, визуальных эффектов и графики, а также других специалистов этой области.

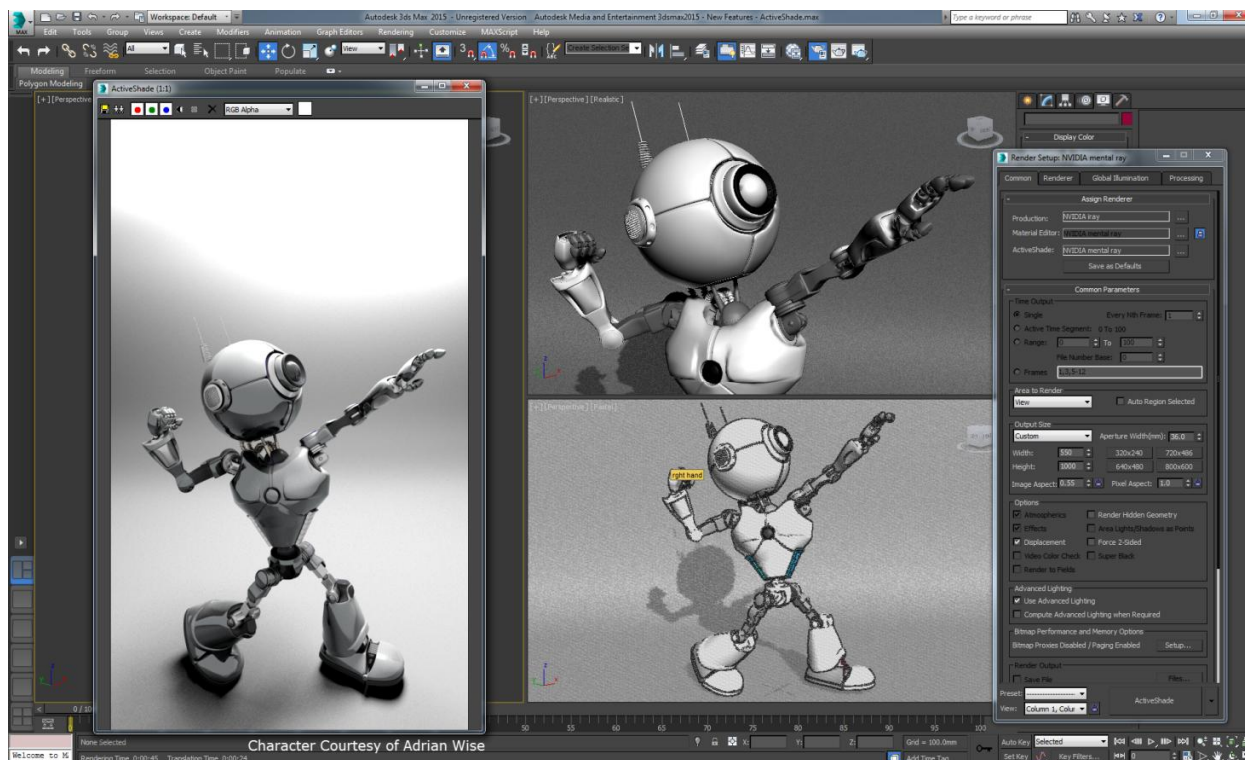


Рис. 3.4.3 – Интерфейс программы Autodesk 3ds Max.

В программе доступны:

- средства для полигонального моделирования и наложения текстур, возможность быстрее и эффективнее создавать персонажей, объекты и обстановку;
- встроенный набор инструментов для анимации персонажей (CAT), представляющий собой расширенную систему оснастки и анимации;
- быстрое создание стилизованных и высокореалистичных изображений благодаря неограниченным возможностям пакетного рендеринга mental ray и Quicksilver при помощи интерактивного графического процессора с поддержкой технологии NVIDIA iray;
- поддержка C++ и .NET, позволяющая осуществлять адаптацию и расширение 3ds Max, а также интеграцию с другими рабочими процессами;
- взаимодействие с решениями Adobe.

Autodesk 3ds Max доступен в двух лицензионных версиях: студенческая – бесплатная (требуется регистрация на сайте Autodesk), которая предоставляет полную версию программы (однако, её нельзя использовать с целью получения прибыли), и полная (коммерческая) версия стоимостью в 2400 евро. Программа поддерживает импорт и экспорт в форматы *.max, *.chr, *.fbx, *.3ds, *.obj, *.stl, *.wrl, *.dwf, *.w3d и многие другие.

Sculptris – бесплатное приложение для трехмерного моделирования. Программа является одной из самых простых в своем роде, так как не требует от пользователя каких-либо специальных знаний. Дело в том, что Sculptris не заставляет моделировать в прямом смысле этого слова. Программа как бы дает пользователю возможность "лепить" будущую трехмерную модель. Такой метод построения модели называют "скульптингом" (от англ. sculpting).

В начале работы перед пользователем появляется шар, который можно "обрабатывать" при помощи всевозможных инструментов, делать выемки,

обрезать ненужные части, получая таким образом нужные формы. После того, как модель будет закончена, можно "натянуть" на нее текстуру. Проекты Sculptris сохраняются в формате *.sc1. Программа поддерживает импорт и экспорт *.obj формата трёхмерной графики.



Рис. 3.4.4 – Интерфейс программы Sculptris.

Meshmixer позволяет проектировать и визуализировать 3D-конструкции путем объединения двух или нескольких моделей всего за несколько простых шагов.

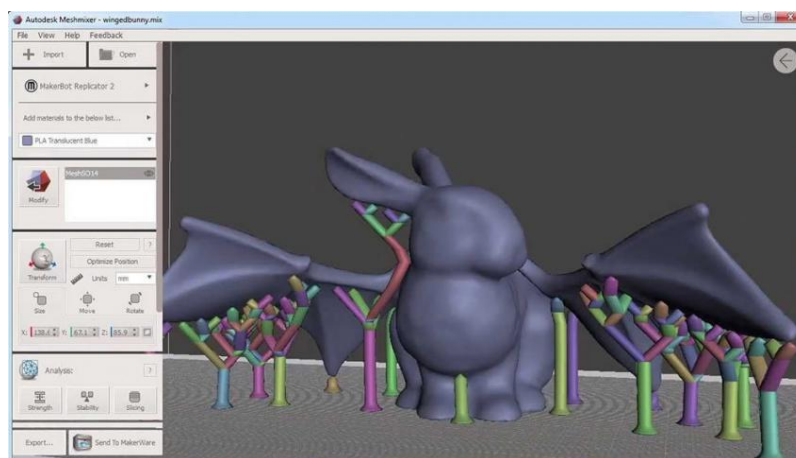


Рис. 3.4.5 – Интерфейс программы Meshmixer.

В программе для этого имеется удобная функция «cut and paste», то есть можно вырезать из модели нужные части и вставить их в другую модель. Также программа поддерживает лепку – пользователь может создавать виртуальную скульптуру, формируя и уточняя поверхность как из глины. Весь процесс происходит в режиме реального времени. Программа поддерживает 3D-печать, а сами готовые модели полностью оптимизированы для отправки в принтер.

4. Технологии изготовления предмета декоративно-прикладного искусства (ложки)

4.1. Моделирование ложки

1. Разработка эскиза.

В результате выполнения данной работы были разработаны следующие наброски:

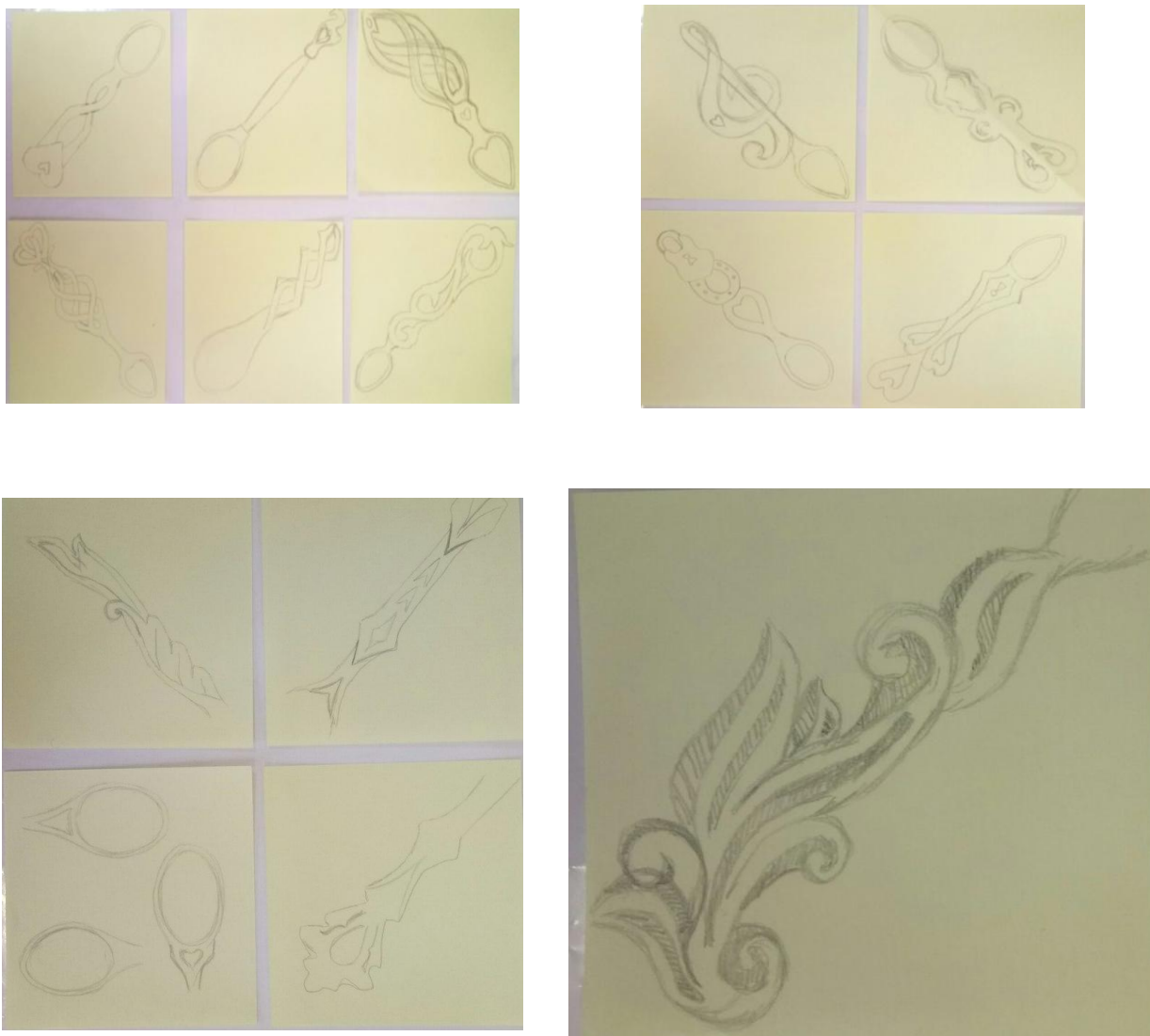


Рис. 4.1.1 – Наброски для ложки.

Окончательный эскиз ложки представлен в Приложении 1.

2. Выбор материалов.

В ходе выполнения практической части работы были выбраны следующие материалы:

- деревянный брусок (липа) – для создания деревянной ложки;
- пластик (ABS) – для формирования распечатанной ложки.

Резьба по дереву является одним из видов декоративного искусства.

Наиболее часто при резьбе используются лиственные породы древесины: липа, ольха, осина и некоторые другие. И все-таки наибольшей популярностью у резчиков по дереву пользуется липа. Хвойные породы используются реже, т.к. характеризуются твердостью, в случае, если нужно получить особую текстуру изделия или цвет, который не могут дать лиственные породы. В этих случаях употребляют кедр, сосну, пихту, лиственницу и тис.

Древесина осины имеет очень однородную структуру, но для художественной резьбы ее используют редко, так как ей характерен хоть и слабый, но очень стойкий к внешним воздействиям зеленоватый оттенок, способный испортить любое резное украшение. Поэтому чаще осину используют как материал для изготовления мелкой кухонной утвари – ложек, например, или деревянных мисок.

А вот ольха, в отличие от осины, для резьбы подойдет, да и к тому же она довольно охотно меняет свой цвет, причем резчику для этого не приходится даже применять каких-то усилий. Свежесрубленная ольха имеет ровный белый цвет, но, если ее оставить на открытом воздухе на совсем непродолжительное время, она сразу же покраснеет. В дальнейшем древесина ольхи начнет терять насыщенность цвета. Это будет происходить до тех пор, пока заготовка не станет бледно розовой. Благодаря этому необычному свойству ольха издавна заслужила звание дерево-хамелеон. Опытные мастера с удовольствием используют эту особенность ольхи, так как вовремя изолировав заготовку, можно получить желаемый цвет древесины, идеально подходящий для задуманного узора.

Береза обладает белым цветом с желтоватым оттенком и однородной, вязкой структурой. Такой же цвет характерен и для кленовой древесины, но она отличается еще и очень красивой текстурой, а также повышенной твердостью, благодаря чему изделия из нее получаются очень прочными.

Выбор был остановлен на липе по следующим причинам:

- она очень хорошо поддается обработке при помощи резца несмотря на свою низкую твердость, а характерная только для нее позволяет при соответствующем уровне умения;
- возможность выполнить очень тонкий узор и сложный рисунок благодаря тонковолокнистой структуре древесины;
- белый цвет заготовок.

Сравнительная характеристика ABS- и PLA-пластиков, используемых для 3D-печати моделей, приведена в таблице 2.

Таблица 2

Основные характеристики ABS- и PLA-пластиков

		ABS	PLA
Особенности хранения	реакция на влагу	появление пузырей и струение из сопла экструдера, снижение визуального качества деталей, точности частей, уменьшение прочности и возможность засорения экструдера	появление пузырей и струение из сопла экструдера, изменение цвета материала и отклонение от программных свойств выходного объекта
	сушка материала	горячим (желательно сухим) воздухом	горячим (желательно сухим) воздухом, возможность изменения коэффициента кристаллизации и изменения температуры экструзии материала
Запах при 3D-печати		едва ощутимый запах нагретой пластмассы	запах полусладкого растительного масла
Качество напечатанных 3D-моделей		шероховатость поверхности печатных объектов	более гладкие объекты

Исходя из приведенных выше данных, выбор был остановлен на PLA-пластике.

3. Выбор технологий.

Чтобы отразить цель данной работы, были задействованы традиционная (субтрактивная) и аддитивная (современная) технологии. В качестве традиционной технологии подразумевается создание деревянной ложки, а в качестве аддитивной – разработка компьютерной 3D-модели ложки и последующая печать на 3D-принтере марки BQ Prusa i3.

4.2. Изготовление деревянной ложки

1. Взвешивание деревянного бруска на весах с точностью до 10^{-3} гр.
2. Нанесение эскиза на брусок с помощью простого карандаша с Н-твердостью.



Рис. 4.2.1 – Брусок с нанесенным эскизом.

3. Обстругивание бруска согласно нанесенному эскизу и создание грубой формы ложки.



Рис. 4.2.2 – Обструженный брусок.

4. Вырезание узора на поверхности ложки и создание углубления.



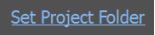
Рис. 4.2.3 – Ложка с вырезанным узором.

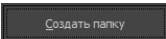
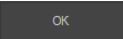

5. Деревянная ложка после окончательной обработки с помощью листа наждачной бумаги приведена в Приложении 2.

4.3. Моделирование и печать ложки с использованием аддитивных технологий

Создание папки проекта

1. Создать папку проекта.

Для этого перейти на вкладку Start (Старт) в появившемся приветственном окне Welcome to 3ds Max (Добро пожаловать в 3ds Max) Затем нажать Set Project Folder  (Установить папку проекта), в появившемся окне выбрать ее местоположение, нажать на кнопку Создать

папку  и переименовать ее. Чтобы закрыть приветственное окно, нажать на кнопку ОК , а затем на кнопку Close (Заккрыть)  в правом верхнем углу данного окна.

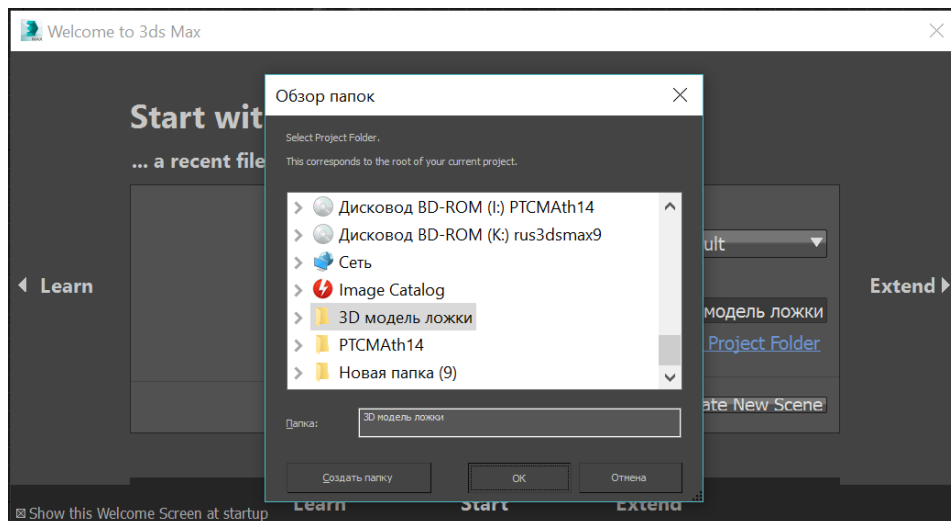


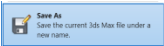



Рис. 4.3.1 – Создание папки проекта.

2. Сохранить файл.

Для этого в System Menu  (Системном меню) нажать клавишу Save as  (Сохранить как) и в появившемся справа окне снова выбрать Save as  (Сохранить текущий 3ds Max файл под новым именем), в строку File name (Имя файла) ввести название сцены и нажать на кнопку Save  (Сохранить).

В строке Save as type (Тип сохранения) по умолчанию отображается 3ds Max (*.max), являющийся форматом сцены в 3ds Max.

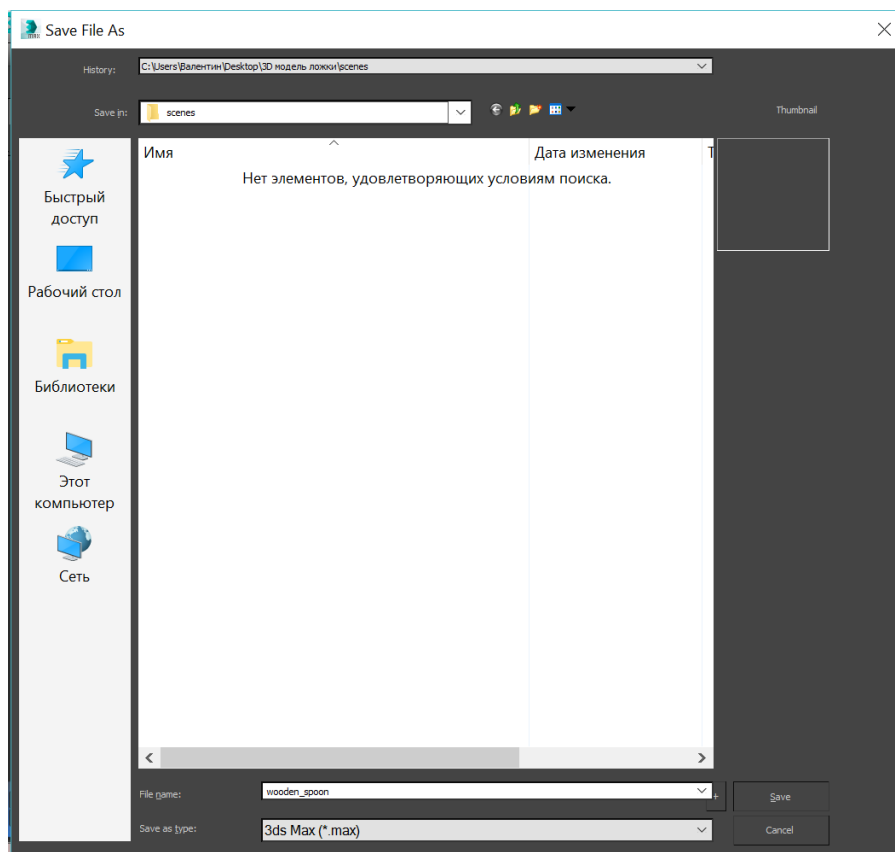


Рис. 4.3.2 – Сохранение сцены.

Подготовка референсов

3. Создать референсы.

Для того чтобы создать референс “вида сверху”, взять обыкновенный карандаш и лист бумаги. Накрыть этим листом деревянную ложку и карандашом на бумаге вычертить контуры ложки. Отсканировать в любой формат изображения.

Для того чтобы создать референсы “вида сбоку” и “вида спереди”, необходимо сфотографировать деревянную ложку соответственно сбоку и спереди.

Сохранить получившиеся референсы в ранее созданной папке проекта.

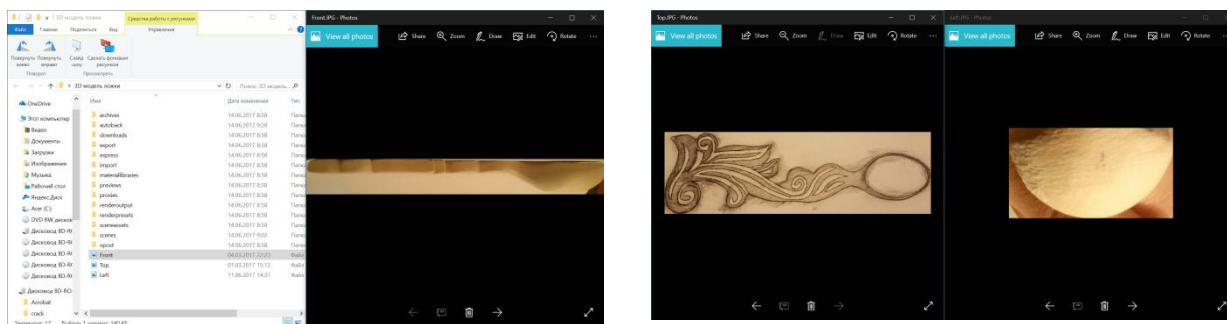


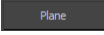

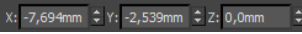


Рис. 4.3.3 – Сохранение референсов в папке проекта.

4. Создать плоскости для отображения имеющихся референсов.

Для этого нажать кнопку Geometry  (Геометрия) вкладки Create  (Создание) командной панели. Затем в свитке Object Type (Тип объекта) нажать на кнопку Plane  (Плоскость), в результате чего кнопка станет синей, а в нижней части командной панели появятся четыре свитка: Name and Color (Название и цвет), Creation Method (Метод создания), Keyboard Entry (Ввод с клавиатуры) и Parameters (Параметры).

Нажать в любом месте вьюпорта Top (Вид сверху) и, удерживая нажатой левую кнопку мыши, переместить указатель по диагонали, определив таким образом длину и ширину объекта. При необходимости изменить параметры объекта, воспользовавшись свитком Parameters.

Чтобы отцентрировать данный объект по всем осям, выбрать инструмент перемещения Select and Move  (Выделение и перемещение) или нажать горячую клавишу W (см. Приложение 4) и в матрице трансформаций нажать правой кнопкой мыши на scroll  X: -7,694mm Y: -2,539mm Z: 0,0mm справа от каждой координаты X, Y и Z соответственно.

Подобным образом создать плоскости для отображения оставшихся референсов во вьюпортах Front (Вид спереди) и Left (Вид слева).

Выбирая каждый вьюпорт, нажать клавишу F3 для корректного отображения созданного объекта.

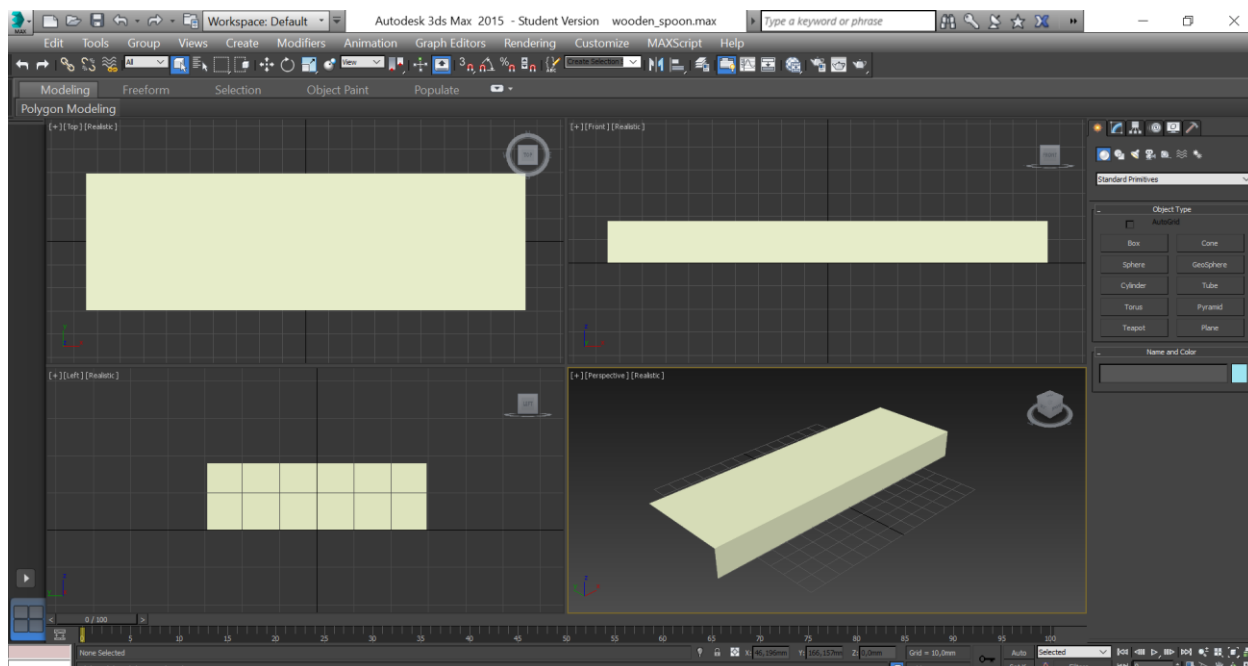


Рис. 4.3.4 – Создание плоскостей для референсов.

5. Методом Drag-and-Drop перенести референсы из папки проекта на соответствующие плоскости.

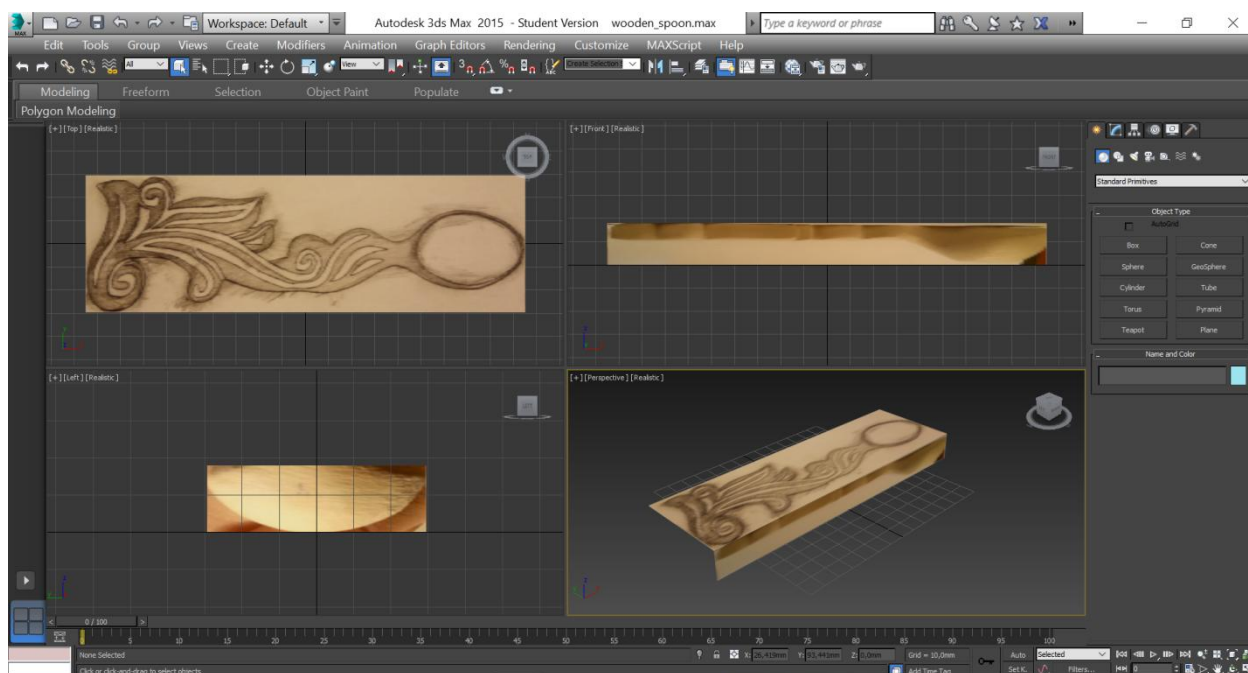

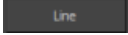



Рис. 4.3.5 – Отображение референсов в плоскостях.

Создание контура

6. Развернуть вьюпорт Тор на всю рабочую область при помощи горячих клавиш Alt + W.

Нажать кнопку Shapes  (Формы) вкладки Create, после чего в свитке Object Type нажать на кнопку Line  (Линия).

Нажимая левой кнопкой мыши и двигаясь в одном направлении, создать контур модели. Для завершения построения нажать левой кнопкой мыши по начальной точке линии и в появившемся диалоговом окне Spline нажать на кнопку Да. Перейдя на вкладку Modify  (Изменение) и нажав клавиши W и 1, отредактировать положение точек, выступающих за границы.

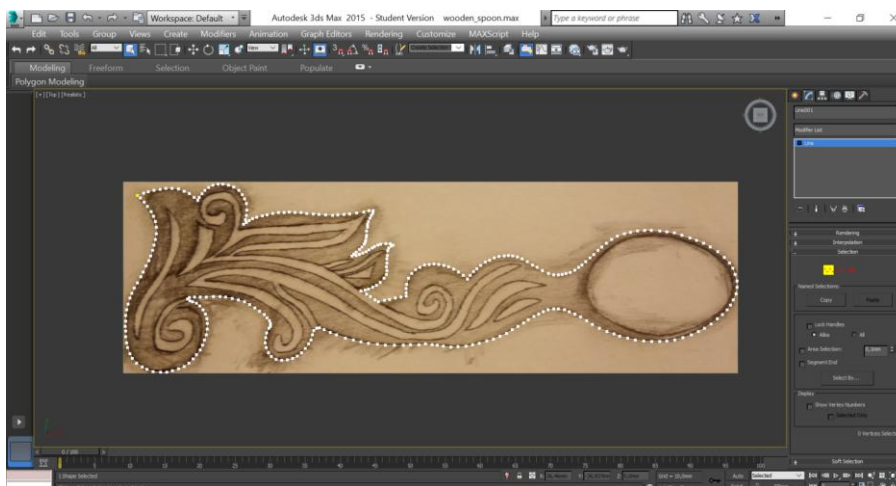





Рис. 4.3.6 – Создание контура модели.

7. На вкладке Modify командной панели выберите из раскрывающегося списка Modifier List  (Список модификаторов) строку Extrude  (Выдавливание). Будет создан объект выдавливания с установками по умолчанию, в нижней части командной панели в свитке Parameters изменить значения параметров Amount (Величина) и Segments (Количество сегментов).

Для того чтобы создать сетку, применить модификатор Quadify Mesh  и в свитке Parameters изменить значение параметра Quad Size %.

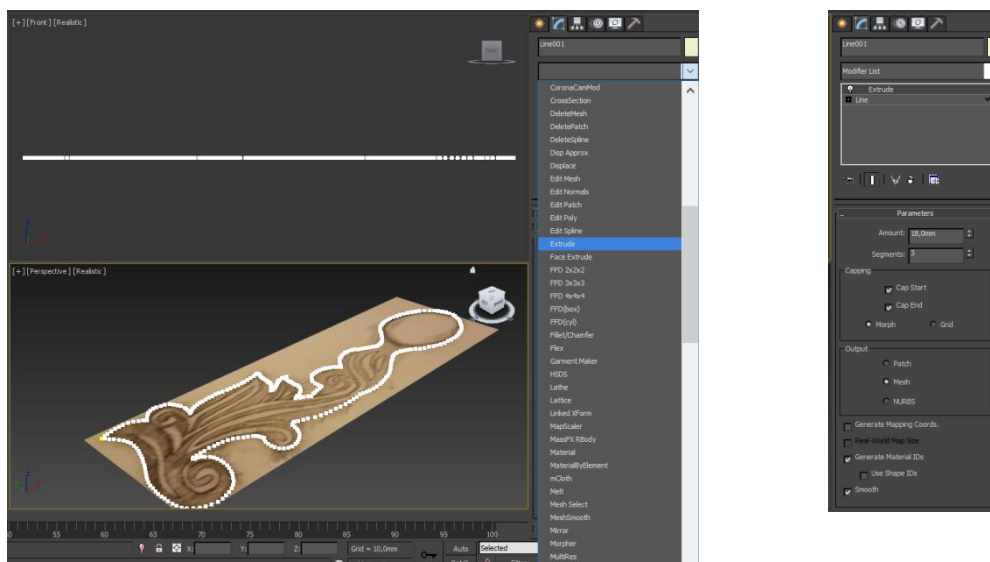


Рис. 4.3.7 (а) – Применение модификатора Extrude.

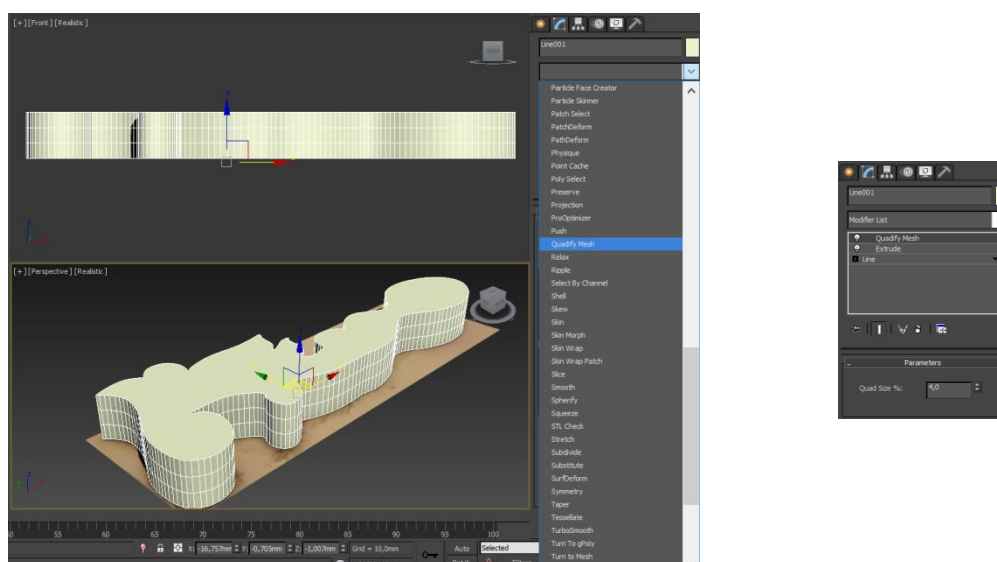


Рис. 4.3.7 (б) – Применение модификатора Quadify Mesh.

8. Применить модификатор Edit Poly **Edit Poly** (Редактирование плоскости) и нажать клавиши 1 и W и удалить вершины по контуру данной части модели.

Затем нажать клавишу 3, выбрать грань, у которой были удалены вершины и в свитке Edit Borders (Редактирование границ) нажать на кнопку Cap **Cap** (Закрытие границы полигоном).

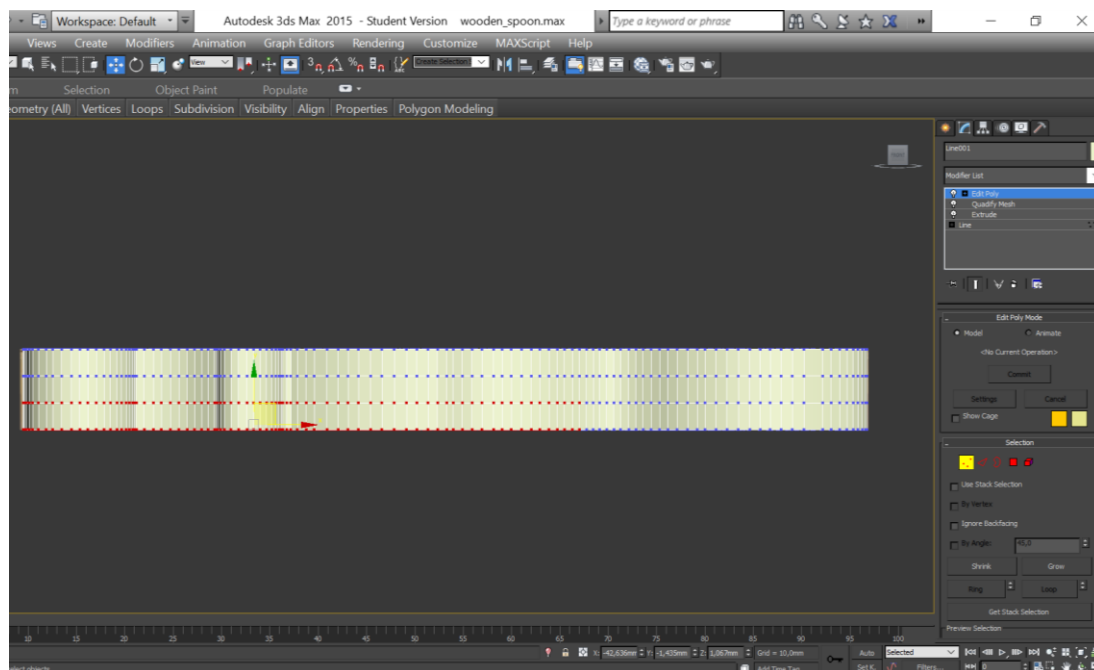
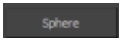




Рис. 4.3.8 – Удаление вершин для создания ручки модели.

9. Нажать на кнопку Geometry вкладки Create командной панели, после чего в свитке Object Type нажать на кнопку Sphere  (Сфера). Удерживая нажатой левую кнопку мыши, создать сферу диаметром с ширину черпательной части модели и расположить центр сферы над центром этой части модели.

Применить модификатор Edit Mesh  (Редактирование поверхности) и в свитке Selection (Выделение) перейти в режим редактирования вершин, щелкнув на кнопке Vertex  (Вершина). Нажать клавишу W и переместить вершины по контуру данной части модели.

Для того чтобы скопировать объект Sphere001, удерживая клавишу Shift, переместить копию над оригиналом. В появившемся диалоговом окне Clone Options (Параметры дублирования) указать тип дублирования и название дублируемого объекта. Нажать кнопку OK.

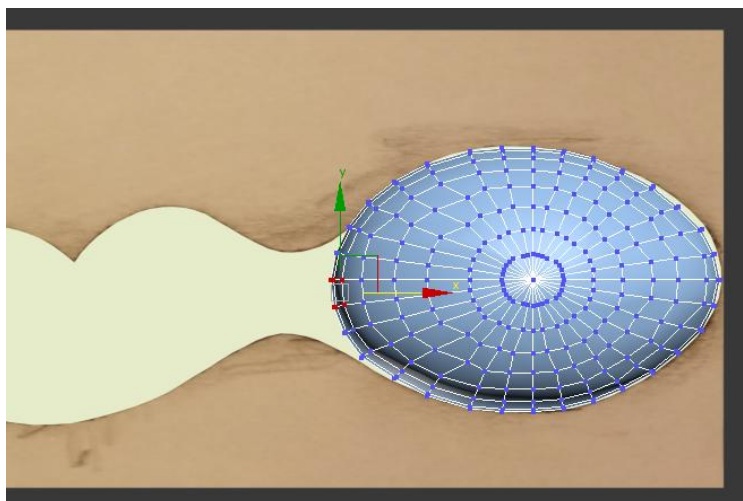
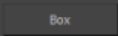

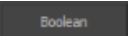
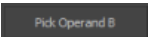


Рис. 4.3.9 – Создание вспомогательного объекта Sphere001.

10. Нажать на кнопку Geometry вкладки Create командной панели, после чего в свитке Object Type нажать на кнопку Box  (Параллелепипед).

Удерживая нажатой левую кнопку мыши, переместить указатель по диагонали, определив таким образом длину и ширину объекта. Отпустить кнопку мыши и переместить указатель вверх для определения высоты объекта. Для завершения построения снова нажать левой кнопкой мыши. При необходимости изменить параметры объекта, воспользовавшись свитком Parameters. Переместить объект Box001 так, чтобы сфера Sphere002 была наполовину в данном объекте.

В выпадающем списке кнопки Geometry на вкладке Create командной панели выбрать Compound Objects  (Составные объекты), после чего в свитке Object Type нажать на кнопку Boolean  (Булевы). В свитке Pick Boolean (Выбрать булевы) нажать кнопку Pick Operand B  (Выбрать операнд B) и на сферу Sphere002, , она исчезнет. Нажать правой кнопкой мыши для завершения операции. Булевский объект готов.

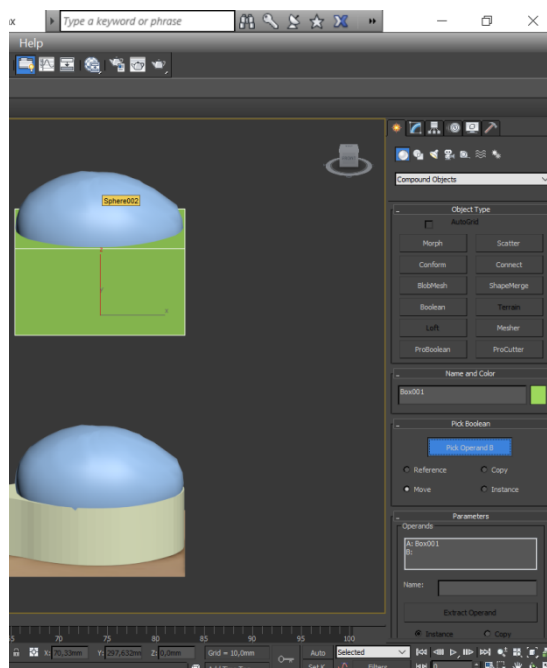


Рис. 4.3.10 – Применение составного объекта Boolean.

Нажать клавишу W и переместить вершины левой стороны вниз так, чтобы было похоже на форму ручки модели.

11. Переместить Boolean-объект вниз, чтобы ее верхняя плоскость с верхней плоскостью черпательной части модели были на одном уровне. Выбрать объект Line001 и в выпадающем списке кнопки Geometry на вкладке Create командной панели выбрать Compound Objects, после чего в свитке Object Type нажать на кнопку Boolean. В свитке Pick Boolean нажать кнопку Pick Operand B и на ранее созданный Boolean-объект, он исчезнет. Нажать правой кнопкой мыши для завершения операции. Булевский объект готов.

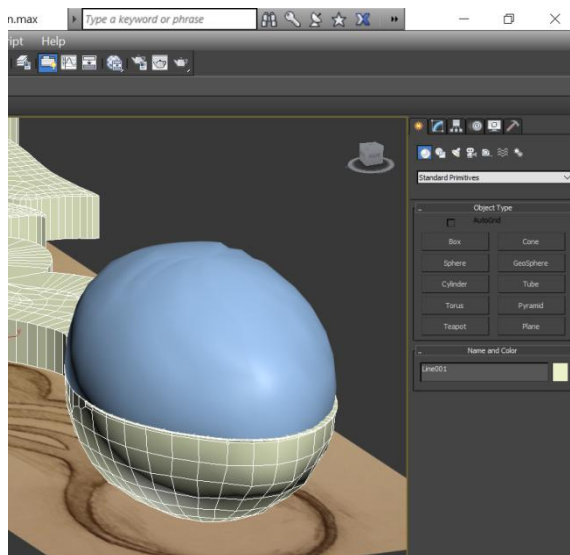


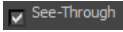


Рис. 4.3.11 – Создание черпательной части модели.

Редактирование узоров

12. Применить модификатор Edit Poly и в свитке Edit Geometry (Редактирование геометрии) нажать на кнопку Cut  (Разрезание). Нажать правой кнопкой мыши и выбрать строку Object Properties  (Свойства объекта) и в его открывшемся окне в меню Display properties поставить галочку напротив пункта See-Through  (Прозрачность). Нажимая левой кнопкой мыши создать все контуры узора.

При необходимости отредактировать положение вершин, выходящих за контуры, используя инструмент Select and Move.

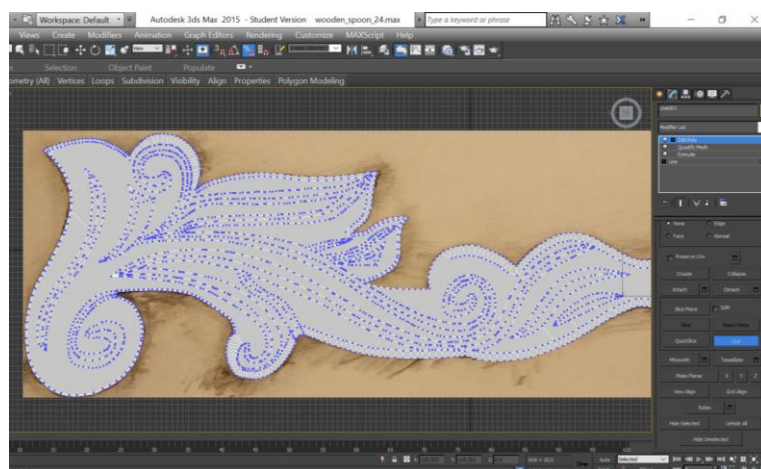




Рис. 4.3.12 – Создание контуров узора модели.

13. Нажать правой кнопкой мыши и в появившемся квадрупольном меню в блоке Transform (Трансформировать) выбрать Convert to  (Конвертировать в) и нажать на строку Convert to Editable Mesh  (Конвертировать в редактируемую сетку).

Нажать клавишу 1 и, перемещая средние линии (линии углубления) вниз по оси Z, создать эффект выемок узора.

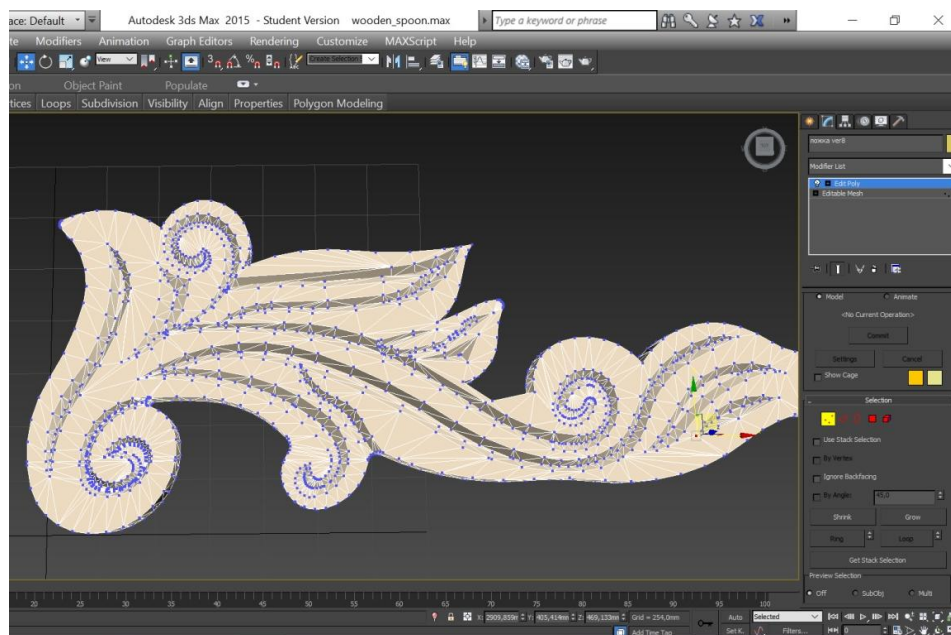

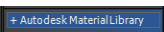




Рис. 4.3.13 – Создание узора.


Рендеринг

14. Нажать клавишу M для вызова Slate Material Editor (Редактор материалов Slate), затем в окне Material/Map Browser (Браузер материалов/карт) нажать на стрелку Material/Map Browser Options  (Опции браузера материалов/карт), после чего внизу появятся четыре закрытых списка: Maps (Карты), Materials (Материалы), Controllers (Контроллеры) и Autodesk Material Library (Библиотека материалов программы).

Открыть список Autodesk Material Library  и выбрать Wood  (Дерево), после чего откроется список имеющихся Нодов (Карт) “Дерево”. Выбрать Нод Pine  (Сосна) и перенести в окно View (Вид) двойным щелчком левой кнопки мыши. В окне View появится

выбранный НОД. Нажать на Map #, подключенный к Generic_Image, и в свитке Parameters окна данной карты выбрать путь к файлу (изображение) в поле Source (Путь). Нажать на Map #, подключенный к Bump_Image, и в свитке Parameters окна данной карты выбрать путь к файлу (изображение) в поле Source. У каждой Ноды есть маркеры выхода, у части также и маркеры входа. Подключить карты к материалу можно, проведя мышью Линию связи от выхода одной Ноды (карты) ко входу другого (материала), зажав левую кнопку мыши (ЛКМ). Маркер входа станет красным и связь установится.

Закрыть окно Slate Material Editor.

Нажать кнопку Save  (Сохранить) на панели быстрого доступа, чтобы сохранить созданную сцену под тем именем, которое было дано в п. 4.1.2 данной работы.

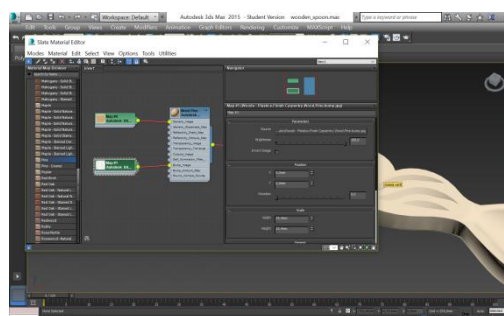
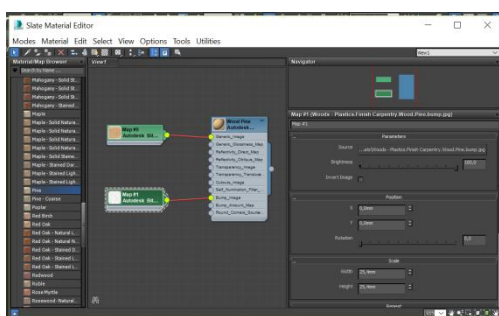



Рис. 4.3.14 – Наложение материалов/карт.

15. Нажать клавишу Z автоматического зумирования. В результате программа приблизит сцену во вьюпорте так, чтобы все находящиеся объекты в сцене были максимально приближены.

Сохранить изображение, получившееся в результате рендеринга, нажав на кнопку Save Image  (Сохранить изображение), в папке проекта. Указать путь, назвать файл (Render) в строке File name и выбрать формат (JPEG) создаваемого файла в выпадающем списке Save as type.

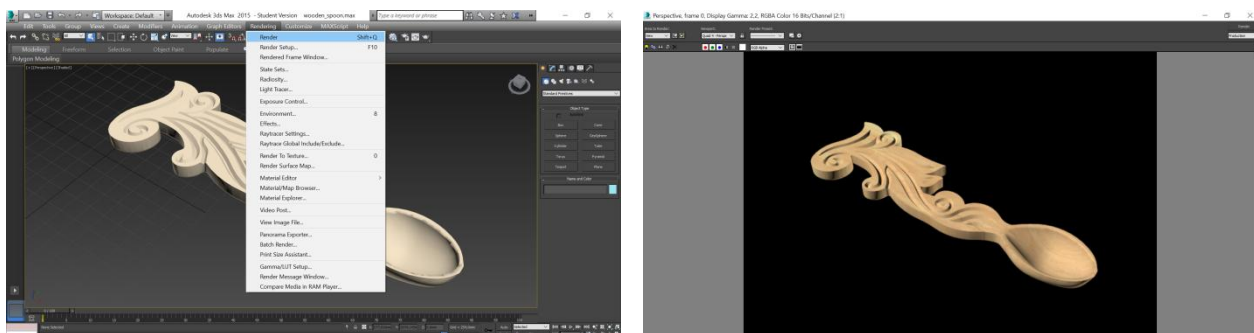


Рис. 4.3.15 (а) – Рендеринг сцены.

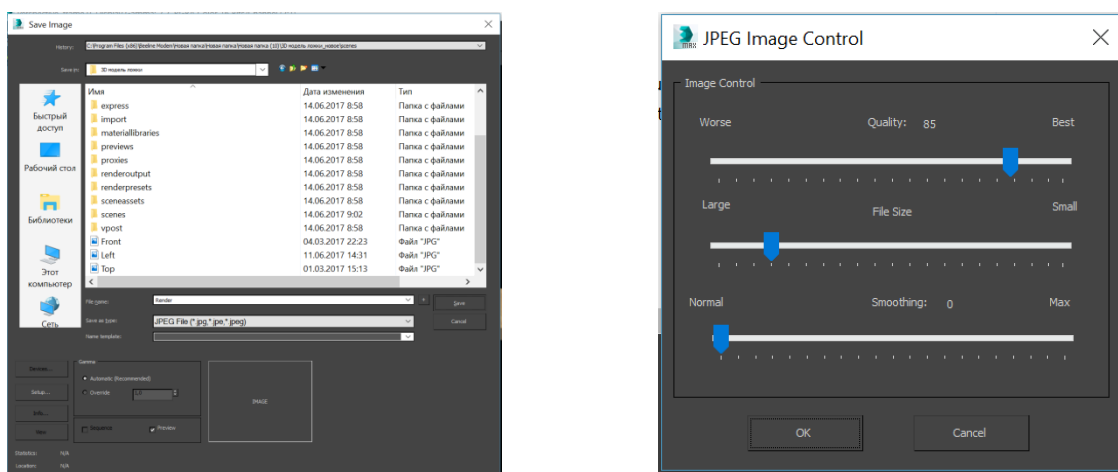
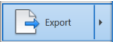


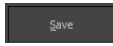


Рис. 4.3.15 (б) – Сохранение рендерингового изображения.

16. Экспорт файла в STL-формат для последующей печати на 3D-принтере.

Выбрать созданную модель, нажав левой кнопки мыши. В System Menu нажать клавишу Export  (Экспорт) и в появившемся справа окне снова выбрать Export  (Экспорт текущей сцены 3ds Max в не родной формат). Откроется окно Select File to Export (Выберите файл для экспорта). В строку File name (Имя файла) ввести название сцены. В строке Save as type по умолчанию отображается All Formats (Все форматы), выбрать в данном выпадающем списке формат стереолитографии StereoLitho (*.STL)  нажать на кнопку Save  (Сохранить). В появившемся Export STL File (Экспорт STL-файл) снова ввести название файла в поле Object name (Название объекта) (wooden_spoon) и нажать кнопку OK.

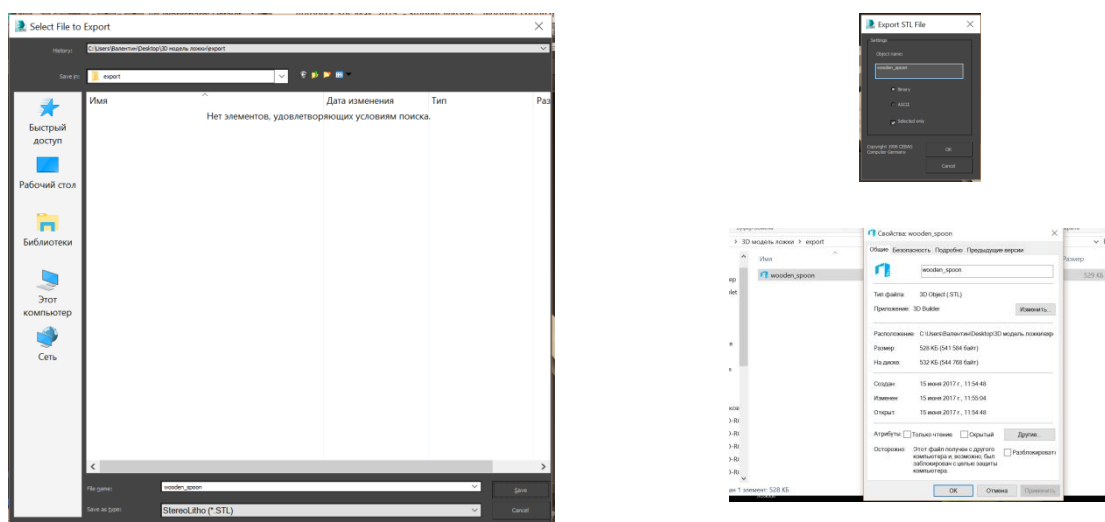


Рис. 4.3.16 – Экспорт сцены в STL-формат.

4.4. Сравнительная характеристика технологий изготовления ложки

Для сравнения использованных технологий – традиционной (субтрактивной) и аддитивной (современной) – в таблице 3 приведены все данные практической части данной работы для выбора наиболее подходящей технологии.

Таблица 3

Сравнительная характеристика технологий

		Деревянная	Пластиковая
Время	создание эскиза	15 дней	—
	изготовление	10 дней	—
	моделирование	—	17 дней
	печать	—	менее 3 часов
Затраты материалов		287 гр	30 гр
Отходы		261 гр	0 гр

Заключение

Обобщенные итоги теоретической и практической разработки темы:

1. проведено исследование аддитивных технологий;
2. приобретен практический опыт разработки деревянной модели ложки;
3. приобретен практический опыт работы с системой Autodesk 3ds max;
4. приобретен практический опыт разработки компьютерной модели ложки.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

- разработан эскиз ложки (см. Приложение 1. Эскиз ложки);
- разработана деревянная модель ложки (см. Приложение 2. Фотография деревянной модели ложки);
- разработана цифровая модель ложки в системе Autodesk 3ds max (см. Приложение 2. Фотография деревянной модели ложки);
- распечатана цифровая модель ложки (см. Приложение 3. Фотография распечатанной компьютерной модели ложки);

По результатам выполнения практической части работы было проведено сравнение традиционного и современного аддитивного моделирования объекта.

К общим рекомендациям по применению 3D-моделирования в учебном процессе целесообразно отнести следующие положения.

1. Изучение 3D-моделирования целесообразно осуществлять во внеурочной деятельности, в кружковой работе и так далее.
2. Программы внеурочной деятельности, направленные на изучение технологий 3D-моделирования.
3. Для печати 3D-объектов необходимо, чтобы обучающиеся подготовили их самостоятельно под руководством преподавателя в программах, позволяющих осуществлять 3D-моделирование.

4. Выбор программ для 3D-моделирования осуществляет преподаватель, исходя из своих возможностей. Помимо Autodesk 3ds max существует и свободно распространяемое программное обеспечение, не требующее дополнительных затрат, например, Blender, 123D-design, КОМПАС.

5. Применять 3D-принтер для печати объектов целесообразно не только для решения учебных задач и достижения учебных целей, а также для воплощения разнообразных творческих идей.

Список использованной литературы

Основная литература

1. 3D-печать в образовании / Т.В. Окладникова, Е.А. Литвинцева, А.П. Окладников, Л.В. Неведимова // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Наука и образование в XXI веке»: в 17 частях. Тамбов, 2014. С. 108-109.

2. Аддитивные технологии в машиностроении [Текст]: учеб.пособие для вузов по направлению подготовки магистров «Технологические машины и оборудование» / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2013. – 183 с.

3. Видео-урок “Уроки 3ds max. Моделирование печенья (Knower School)”. URL:

https://www.youtube.com/watch?v=sIJXL7_fvD8&feature=youtu.be&app=desktop

4. Видео-урок “Моделирование ложки в 3ds max 9”. URL: https://www.youtube.com/watch?v=_pYOkd3b3hk

5. Видео-урок “3D Моделирование ложки за пару минут”. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=z7dkN-THDG0>

6. Видео-урок “3ds max fast spoon modeling”. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Tup6fZdswSA>

7. Видео-урок “ Ложка и ошибки моделирования в 3ds max”. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=M01XMeEhVoU>

8. Видео-урок “Моделирование простого декора”. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=3yq8KOCjWe8>

9. Видео-урок “ТОП 10 лучших простых модификаторов в 3ds max”. URL: https://www.youtube.com/watch?v=Y9Dq3mc_Q08

10. Видео-урок “Моделирование с помощью сплайнов: модификаторы, создающие трёхмерные объекты из сплайнов”. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=FwtT1cVmcwQ>

11. Гвоздев. Дипломная работа. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sibsutis.ru/upload/864/%D0%94%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0%20%D0%93%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D0%B5%D0%B2%D0%B0.pdf>

12. Голубева И.Л., Альтапов А.Р. Изучение цифрового прототипирования в курсе компьютерной графики с использованием продуктов Autodesk // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №13. С. 343-344.

13. Добринский, Е. С. Быстрое прототипирование: идеи, технологии, изделия [Текст]/ Е. С. Добринский // Полимерные материалы. – 2011. – №9. – 148 с.

14. Долинин Ф.И., Токарев А.С., Зулькарнаев В.У. Использование 3D-принтеров в высших учебных заведениях для образования и возможности заработка // Инновации в науке. 2014. №35. С. 60-67.

15. Иллюстрированный самоучитель по 3Ds Max. [Электронный ресурс]. URL: https://eknigi.org/web_razrabotki/58203-illyustrirovannyj-samouchitel-po-3ds-max.html

16. Интерактивный курс 3Ds Max. [Электронный ресурс]. URL: <http://archicad-autocad.com/samouchitel-3ds-max/interaktivniy-samouchitel-3ds-max.html>

17. Казмирчук К., Довбыш В. Аддитивные технологии в российской промышленности [Электронный ресурс]. – URL: <http://konstruktor.net/podrobnее-det/additivnye-texnologii-v-rossijskojpromyshlennosti.html>

18. Каширский А. Видеокурс “3D MAX для новичков”. [Электронный ресурс]. URL: http://book-sam.ru/3d_main.html

19. Кушнир А.П., Лившиц В.Б. Классификация технологий 3D печати // Рецензируемое периодическое сетевое научное издание «Дизайн. Теория и

практика». 2014. №18. <http://enidtp.ru/download/185/> (доступ свободный).
Загл. с экрана. Яз. рус.

20. Лейбов А.М., Каменев Р.В., Осокина О.М. Применение технологий 3D-прототипирования в образовательном процессе // Современные проблемы науки и образования. 2014. №5. С. 93.

21. Реферат “Качество 3D-принтеров и перспективы их эффективного применения”. [Электронный ресурс]. URL: <http://refleader.ru/jgernayfsqasotr.html>

22. Русаков М. Визуализация в 3D Max 2015 и Vray 3.2. [Электронный ресурс]. URL: <http://samouchitelbox.ru/sapr-3d-max-2015-samouchitel.html>

23. [Электронный ресурс]. URL: <https://studrb.ru/download?type=work&id=12325>

24. [Электронный ресурс]. URL: <https://sibac.info/conf/tech/lxii/60237>

Дополнительная литература

1. Казакевич В.М. Технология. Технический труд. 5-7 кл.: учеб. для общеобразоват. учреждений: в 3 кн. Кн. 1 / В.М. Казакевич, Г.А. Молева. – М.: Баласс, 2012. – 128 с.: ил. (Образовательная система «Школа 2100»). – ISBN 978-5-85939-922-2

2. Самородский П.С., Симоненко В.Д., Тищенко А.Т. Технология: Учебник для учащихся 6 класса общеобразовательных учреждений (вариант для мальчиков). – 2-е изд. перераб. / Под ред. В.Д. Симоненко. – М.: Вентана-Граф, 2004. – 144 с.: ил. – ISBN 5-88717-362-9.

3. Самородский П.С. Технология: технический труд: 7 класс: учебник для учащихся общеобразовательных учреждений / П.С. Самородский, А.Т. Тищенко, В.Д. Симоненко; под ред. В.Д. Симоненко. – 3-е изд., перераб. – М.: Вентана-Граф, 2012. – 160 с.: ил. – ISBN 978-5-360-03071-3.

4. Симоненко В.Д. Технология. 5 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений: вариант для мальчиков / В.Д. Симоненко, А.Т. Тищенко, П.С.

Самородский; под ред. В.Д. Симоненко. – 6-е изд. – М.: Просвещение, 2010. – 176 с.: ил. – ISBN 978-5-09-024162-5.

5. Тищенко А.Т. Технология. Индустриальные технологии: 5 класс: учебник для учащихся общеобразовательных учреждений / А.Т. Тищенко, В.Д. Симоненко. – М.: Вентана-Граф, 2012. – 192 с.: ил. – ISBN 978-5-360-03281-6.

6. Фомин, Б. Rhinoceros 3D моделирование [Текст] / Пер. с англ. – М.: Издательство «Слово», 2005. – 290 с.

Приложение 1. Эскиз ложки



Приложение 2. Фотография деревянной модели ложки



Приложение 3. Фотография распечатанной компьютерной модели
ложки



Приложение 4. Горячие клавиши Autodesk 3ds Max.

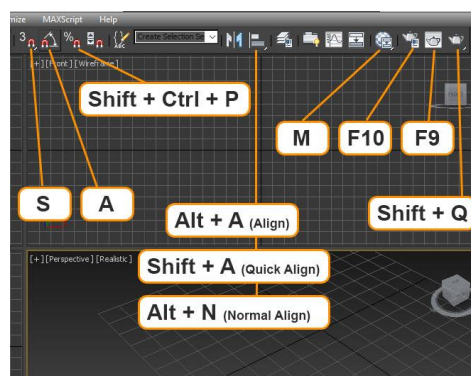
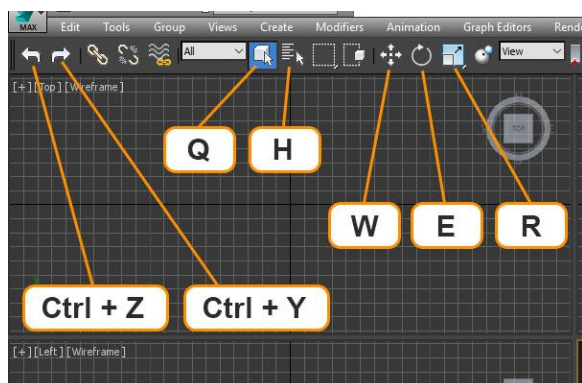


Таблица 5.1

Список горячих клавиш для работы с панелью инструментов

Ctrl + Z	отмена действия
Ctrl + Y	возврат отмененного действия
Q	режим выделения объектов (повторное нажатие - смена области выделения)
H	выделение объектов по имени
W	режим перемещения объектов
E	режим вращения объектов
R	режим масштабирования объектов

S	включить привязку объектов
A	включить угловую привязку объектов
Shift + Ctrl + P	включить процентную привязку объектов
Alt + A	режим выравнивания объектов
Shift + A	режим быстрого выравнивания объектов
M	редактор материалов
F10	настройки рендера
F9	быстрый рендер сцены
Shift + Q	рендер сцены

Таблица 5.2

Список основных горячих клавиш для работы с видовыми экранами

A + Q	изолировать выбранный объект
A + W	развернуть выбранный видовой экран
I	отцентрировать видовой экран по позиции курсора
Z	отцентрировать видовой экран по выделенному объекту
7	показать статистику сцены
8	окно настройки окружения и эффектов
Shift + F	отобразить границы рендера
Shift + перемещение объекта	клонировать объект
Alt + X	сделать объект прозрачным
Прокрутка колеса мыши	зум
Ctrl + Alt + нажатое колесо мышки	плавный зум
Нажатое колесо мышки	передвижение в видовом экране
Shift + нажатое колесико мышки	передвижение в окне проекции по выбранной оси
Alt + нажатое колесо мышки	вращения сцены вокруг оси
Shift + Alt + нажатое колесо мышки	вращения сцены вокруг выбранной оси

T	вид сверху
L	вид слева
F	вид спереди
B	вид снизу
P	вид перспективы
C	вид с камеры
F2	включить подсветку выбранных полигонов
F3	вид каркаса
F4	показать каркас
1	переход на уровень редактирования объекта, как точек
2	переход на уровень редактирования объекта, как ребер
3	переход на уровень редактирования объекта, как границ
4	переход на уровень редактирования объекта, как полигонов
5	переход на уровень редактирования объекта, как элемента